

Rec'd PCT/PTO 14 JUL 2004

PCT/JP03/00435 #2
10/501562

日 本 国 特 許 庁

20.01.03

JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 1月18日

REC'D 14 MAR 2003

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-009891

[ST.10/C]:

[JP2002-009891]

出 願 人

Applicant(s):

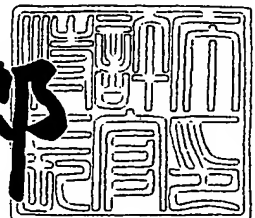
本田技研工業株式会社

PRIORITY
DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 2月25日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3010148

【書類名】 特許願

【整理番号】 PSK58651HW

【提出日】 平成14年 1月18日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 B25J 5/00
G05D 1/02

【発明者】

 【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研
 究所内

 【氏名】 竹中 透

【発明者】

 【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研
 究所内

 【氏名】 松本 隆志

【発明者】

 【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研
 究所内

 【氏名】 吉池 孝英

【特許出願人】

 【識別番号】 000005326

 【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100077805

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 佐藤 辰彦

【選任した代理人】

 【識別番号】 100077665

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 千葉 剛宏

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 015174

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9711295

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 脚式移動ロボットの姿勢安定化制御装置及び脚式移動ロボットの動作生成装置並びに姿勢制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

力、力のモーメントおよび力の作用点の少なくともいずれかからなる目標操作量および目標外力の少なくともいずれかからなる目標値を入力し、前記目標値を満足するように制御対象である脚式移動ロボットの目標挙動を出力する動力学モデルを少なくとも備えるモデル追従型の脚式移動ロボットの姿勢安定化制御装置であって、少なくとも前記動力学モデルと前記ロボットの姿勢の状態量の偏差に応じた前記目標値の修正量を少なくとも前記動力学モデルに付加的に入力しつつ、目標挙動に釣り合う外力が目標外力の所定の許容範囲を越えないように、あるいは、重心加速度が所定の許容範囲を越えないように、前記動力学モデルの動的挙動を決定することを特徴とする脚式移動ロボットの姿勢安定化制御装置。

【請求項 2】

脚式移動ロボットが歩行や走行などの動作を行うとき、前記動作の目標瞬時値を生成し、前記目標瞬時値に前記脚式移動ロボットを追従させる脚式移動ロボットの姿勢安定化制御装置であって、

a. 前記動作を構成する目標運動と目標床反力の少なくともいずれかの仮瞬時値を決定する仮瞬時値決定手段、

b. 目標床反力および重心加速度の少なくともいずれかの許容範囲を設定する許容範囲設定手段、

および

c. 前記ロボットの運動と床反力の関係を表す動力学モデルを用い、少なくとも前記動力学モデルと前記ロボットの姿勢の状態量の偏差に応じて、前記動力学モデルで表される運動と床反力の釣り合い関係をずらしつつ、前記許容範囲を越えないように、少なくとも前記目標運動の仮瞬時値を修正することにより、前記目標運動と目標床反力の目標瞬時値を決定する補正手段、

を備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの動作生成装置。

【請求項 3】

前記補正手段が、前記目標運動の目標瞬時値が前記目標運動の仮瞬時値に収束するように前記目標運動と目標床反力の目標瞬時値を決定することを特徴とする請求項 2 項記載の脚式移動ロボットの動作生成装置。

【請求項 4】

前記動作の姿勢が発散しないように前記動作のパラメータを修正することを特徴とする請求項 1、2 および 3 項いずれかに記載の脚式移動ロボットの動作生成装置。

【請求項 5】

姿勢制御偏差に応じて、床反力の並進力水平成分と床反力モーメントの発生比率が互いに異なるふたつの運動モードを含む複数の運動モードの挙動を、目標歩容に加えて目標歩容を修正する姿勢制御装置。

【請求項 6】

前記運動モードが少なくとも上体姿勢角を回転させる運動モードを含むことを特徴とする請求項 5 項に記載の姿勢制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

この発明は脚式移動ロボットの姿勢安定化制御装置及び脚式移動ロボットの動作生成装置並びに姿勢制御装置に関し、より具体的にはロボットの目標歩容を生成する内部モデルを備え、ロボット（実機）の挙動を内部モデルの挙動に追従させるようにしたものに関する。

【0002】

【従来の技術】

脚式移動ロボット、特に 2 足歩行の脚式移動ロボットとしては、特開昭 62-97005 号、特開昭 63-150176 号公報記載のものなどが知られている。また脚式移動ロボットを含むロボットの制御については、「ロボット工学ハンドブック」（日本ロボット学会編、1990 年 10 月 20 日）に詳しい。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、脚式移動ロボット、特に2足歩行の脚式移動ロボットは本来的に安定性が低いことから、外乱などを受けると姿勢が不安定となる。そこでロボットの上体の傾き角度と傾き角速度を検出して姿勢制御する必要がある。その意図から本出願人は先に特願平2-336,420号（平成2年11月30日出願）において、着地候補位置を何点か予め用意しておき、一步ごとの制御周期でいずれかを選択して目標歩容を切り換える制御を提案している。しかし、この制御によるときは、姿勢が崩れた結果、ZMP（垂直床反力の作用重心点。Zero Moment Point）が存在可能範囲の限界付近に偏って接地性が失われても、次の一步で歩容が修正されて姿勢が復元するまではZMPが限界付近に偏ったままなので、それまで接地性を回復できないと言う不都合がある。

【0004】

そこで本出願人は近時別の出願（平成4年4月30日、整理番号A92-0116）において、ロボットの力学モデルを基に力学的平衡状態が保証される様に床反力を設定した目標歩容を生成し、モデル化誤差や外乱によって傾き角度と傾き角速度に目標値と実際値との間で偏差が生じたときは、実ロボットの接地部の変位あるいはモーメントを基準歩容から故意にずらすことによって実ロボットの床反力をモデルから計算される目標歩容のそれから故意にずらし、実ロボットの傾きをモデルの傾きに近づける復元力を得る技術を提案している（ここで言う「床反力」は、各脚に作用する床反力を全て合成した、ある作用点に働く合力と合モーメントとを意味する）。

【0005】

しかし提案したこの技術によるときは、例えば2足歩行ロボットの片脚支持期では、実ロボットの床反力を故意に大きくずらそうとして足首角度を大きくずらしても、ZMPが足平接地面を超える全床反力を発生することができず、足平の一部が浮いてしまうことがある。従って、実ロボットがモデルに対して大きく傾いてしまった場合には、実ロボットの傾斜を正常に戻すために必要な十分な復元力を得ることができないことがあり、そのときは実ロボットが転倒する。即ち、この技術では目標値と実際値との偏差を縮める復元作用がZMPの存在範囲に制

約される。

【0006】

図で説明すると、実ロボットの関節変位をモデルの通りに追従する制御においては、実ロボットの傾き角度と傾き角速度とがそれぞれモデルのそれらと一致していれば、図1に実線で示す実ロボットのZMPはモデルから決定される目標ZMPに一致し、ロボットは所期の姿勢で歩行する。しかし、実際には先に述べた様にモデル化誤差や外乱によって破線で示す様に傾き角度と傾き角速度とに偏差が生じ、しかもそのずれは重力の作用によって偏差が大きくなるほど益々大きくなるとうとする発散傾向を持つ。ところで実ZMPが目標ZMPからずれると、図2に示す様に、その間の距離 x に力 F を乗じたモーメント M が目標ZMPのまわりに生じる。換言すれば、実ZMPが故意に目標ZMPからずれる様に関節変位を制御することにより、所望のモーメントを生じさせることができる。先に提案した技術ではその思想に基づき、傾き（角度と角速度）偏差が生じたときは図2に示す様に、故意に実ZMPをずらして姿勢復元方向にモーメントを生じさせる様にした。しかし、この技術によるときは同図に示す如く、実ZMPをずらすことができる範囲は、足平領域 x_{sole} 内に限られる。

【0007】

従って、この発明の目的は近時提案した技術を改良し、更に効果的な脚式移動ロボットの姿勢安定化制御装置及び脚式移動ロボットの動作生成装置並びに姿勢制御装置を提案することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記した課題を解決するためにこの発明は特許請求の範囲に示す如く、制御対象のモデルを少なくとも1つ備えるモデル追従型の脚式移動ロボットの姿勢安定化制御装置であって、前記モデルと実ロボットの姿勢の傾斜などの状態量の偏差に応じた操作量を少なくとも前記モデルにフィードバックしてモデルの挙動を修正するように構成した。

【0009】

【作用】

重力作用によって発散しようとする傾き偏差を零に収束させようとする作用は、実ロボットとモデルの床反力（より広義には床反力を含む外力）の差によって生じるものである。従って、偏差を収束させるためには、実ロボットの床反力をずらす代わりに、モデルの床反力を反対側にずらすことによっても等価な効果を得ることができる筈である。本発明はこの効果を利用する。そして、それによって図3に示すように、ずらすZMPがモデルのそれであることから、ZMPをずらす範囲はもはや足平直下の領域内に限られることがなく、足平接地面を遠く超えた位置までずらすことができる。言い換えれば、前記した距離 x を大きくすることができ、結果的にモーメントを大きくすることができて大きな姿勢復元力を得ることができる。

【0010】

以下、更に説明する。分かり易くするために図4に示す様に、足平と1リンクの脚と上体から構成される単純なロボットを考える。脚の質量を m 、足首まわりの脚の慣性モーメントを I 、脚重心の足首との距離を h とする。上体の質量および慣性モーメントは0とする。また足首の床からの高さも0とする（こうすると、床反力と足首モーメントとが一致して議論が簡単になる）。鉛直方向に対する脚の傾き（即ち、足首と重心とを結ぶ線分の傾き角度）を θ_{link} 、鉛直方向に対する上体の傾きを θ_{trunk} 、腰関節の曲げ角を θ_{hip} とする。尚、図で θ_{link} と θ_{trunk} は負、 θ_{hip} は正とする。更に、足首に作用するモーメントを M_{act} とする（足首の床からの高さが0であるから、床反力も M_{act} である）。重力加速度は g とする。足首には公知のトルク制御が施されるものとし、腰の曲げ角は変位制御されるものとする。

【0011】

上記において、幾何学的関係から数1の式が成立する。

【0012】

【数1】

$$\theta_{trunk} = \theta_{link} + \theta_{hip}$$

【0013】

このロボットの脚の運動方程式は数2式の様になる。

【0014】

【数2】

$$I \cdot \frac{d^2 \theta_{link}}{dt^2} - m g h \cdot \theta_{link} = M_{act}$$

【0015】

これをラプラス変換して数3の式を得る。

【0016】

【数3】

$$\theta_{link} = \frac{M_{act}}{I S^2 - m g h}$$

【0017】

さて、ここで、この実ロボットと全く同じ構造と全く同じパラメータ値を持つ数式モデルを用意する。その鉛直方向に対する脚の傾き（即ち、前記と同様な足首と重心とを結ぶ線分の傾き）を $\theta_{mdl link}$ 、鉛直方向に対する上体の傾きを $\theta_{mdl trunk}$ 、腰関節の曲げ角を $\theta_{mdl hip}$ とし、モデルの足首に作用するモーメント（即ち、モデルの床反力）を M_{mdl} とすると、幾何学的な数式モデルと動力学的な数式モデルは、数4式、数5式に示す様になる。

【0018】

【数4】

$$\theta_{mdl trunk} = \theta_{mdl link} + \theta_{mdl hip}$$

【0019】

【数5】

$$I \cdot \frac{d^2 \theta_{mdl link}}{dt^2} - m g h \cdot \theta_{mdl link} = M_{mdl}$$

【0020】

次に、モデルを基に目標歩容を作成する。目標歩容は、一般的にはモデルの初期状態、モデルに加えられる操作量、および拘束条件によって表現される。具体的には、脚の初期傾き角度 $\theta_{ref link 0}$ と脚の初期傾き角速度 $\omega_{ref link 0}$ 、足首モーメントの時間関数 $M_{ref}(t)$ 、および上体の傾き角度の時間関数 $\theta_{ref trunk}(t)$

によって表現される。上体の傾き角度の時間関数 $\theta_{reftrunk}(t)$ は、議論を単純化するために、ここでは常に 0 であるものとする。

【0021】

次に、以下の制御を実施する。

【0022】

モデルの上体の傾き角度 $\theta_{mdltrunk}$ を常に $\theta_{reftrunk}(t)$ に一致させる ($\theta_{reftrunk}(t)$ は 0 としているので、 $\theta_{mdltrunk}$ も常に 0 に維持される)。モデルの足首には、 $M_{ref}(t)$ と後述する上体の傾き偏差に応じた操作量 M_{mdlfb} の和が入力され、実ロボットの足首には、 $M_{ref}(t)$ と後述する上体の傾き偏差に応じた操作量 M_{actfb} の和に実際値 M_{act} が一致するようにトルク制御が実施される。実ロボットの腰の曲げ角度 θ_{acthip} はモデルの腰の曲げ角 θ_{mdlhip} を目標変位として変位制御が施される。即ち、 θ_{acthip} は、 θ_{mdlhip} に一致するように制御される。実ロボットの上部には、傾斜センサが備えられており、上体の傾き角 $\theta_{acttrunk}$ が検出される。

【0023】

モデルに対する実ロボットの上部傾き角偏差 θ_{err} は数 6 の式で求められる。この例では、実ロボットの上部傾き角偏差 θ_{err} は、 $\theta_{mdltrunk}$ が常に 0 に維持されているから、 $\theta_{acttrunk}$ そのものである。

【0024】

【数 6】

$$\theta_{err} = \theta_{acttrunk} - \theta_{mdltrunk}$$

【0025】

制御の目的は、歩行中においてモデルに対する実ロボットの上部傾き角偏差 θ_{err} を 0 に収束させることである。先に述べた近時提案した技術では、上体の傾き角偏差に応じた操作量 M_{actfb} を算出し、実ロボットの足首モーメント M_{act} に加えることによりフィードバックループを構成していた。これに対し、この発明による制御装置では、上体の傾き角偏差に応じた操作量 M_{mdlfb} をモデルの足首モーメント M_{mdl} に加えることによりフィードバックループを構成する。

【0026】

この発明による制御と近時提案した制御の効果を比較するために、Mactfb と Mmdlfb から上体の傾き角偏差 θ_{err} までのブロック図を図5に示す。但し、この図では θ_{err} から Mactfb へのフィードバックと θ_{err} から Mmdlfb へのフィードバックを省略した。

【0027】

さて、トルク制御部と変位制御部の伝達関数は、 $\theta_{actlink}$ の挙動に比べて制御の応答性が十分高ければ1とみなすことができる。このとき、図5を、Mactfb, Mmdlfb および θ_{err} の関係のみに着目して変形すると、図6が得られる。この図から明らかな様に、例えば $H(S)$ をフィードバック則とすると、Mact に数7の式で求められるMactfb をフィードバックすることと、Mmdl に数8の式で求められるMmdlfb をフィードバックすることは、 θ_{err} の挙動に対して同一の効果を持つ。

【0028】

【数7】

$$Mactfb = H(S) \theta_{err}$$

【0029】

【数8】

$$Mmdlfb = -H(S) \theta_{err}$$

【0030】

更に、 θ_{err} の挙動を決定するものは、Mactfb と Mmdlfb との差であるから、数9の式となる様に、 $H(S)$ をMactfb と Mmdlfb に分配すれば、この手法もやはり同一の効果を持つ。

【0031】

【数9】

$$Mactfb - Mmdlfb = H(S) \theta_{err}$$

【0032】

以上が、この発明の根本原理である。実ロボットが複雑なものであっても、そのダイナミクスを忠実に模擬するモデルを用意すれば、実ロボットの床反力とモデルの床反力の差を制御することにより、上記例と全く同一原理で同一の効果を

得ることができる。後で実施例で示す様に、動力学モデルを基準歩容からの摂動分で表現しても、 θ_{err} とその微分値 ω_{err} が微小であれば、同一の効果が得られる。

【0033】

この構成により、近時提案した制御と異なり、実ロボットの床反力 ZMP 位置を本来あるべき位置から故意にずらす必要がないので、何らかの外乱などによって前記傾き角（角速度）偏差が非常に大きくなっても、接地性を確保したまま（即ち、足裏が浮かない様にしながら）、近時提案した制御では不可能であった大きな姿勢復元作用を得ることが可能となり、短時間で偏差を 0 に収束させることができる。また、モデルは床と干渉しないから（但し、実ロボットの全床反力をずらすために故意に干渉させる分は除く）、モデルに追従している実ロボットも床と干渉せず、着地衝撃を小さい値に抑制することも可能となる。

【0034】

尚、上記において、足平が浮かないためには、 $Mact$ （上記例では $Mref + Mactfb$ ）は、ある範囲内に制限されなければならない（例えば、平地歩行では実ロボットの ZMP が足平の接地面を超えない範囲に限定される）。従って、 $Mact$ がこの制限を超えない様な値をとり、かつ数 10 の式を満足する様に、 $Mactfb$ と $Mmdlfb$ は決定されるべきである。

【0035】

【数 10】

$$Mactfb - Mmdlfb = H(S) \theta_{err}$$

【0036】

尚、 $Mactfb$ から $\theta_{mdl link}$ までのオープンループの伝達関数と $Mmdlfb$ から $\theta_{mdl link}$ でのオープンループの伝達関数は一致しないので、近時提案した制御とこの発明による制御とでは、 $\theta_{mdl link}$ の挙動に関して特性が異なる。

【0037】

【実施例】

以下、脚式移動ロボットとして 2 足歩行の脚式移動ロボットを例にとって、この発明の実施例を説明する。図 7 はそのロボット 1 を全体的に示す説明スケルト

ン図であり、左右それぞれの脚部リンク 2 に 6 個の関節を備える（理解の便宜のために各関節をそれを駆動する電動モータで示す）。該 6 個の関節は上から順に、腰の脚部回旋用（ z 軸まわり）の関節 10 R, 10 L（右側を R、左側を L とする。以下同じ）、腰のロール方向（ x 軸まわり）の関節 12 R, 12 L、同ピッチ方向（ y 軸まわり）の関節 14 R, 14 L、膝部のピッチ方向の関節 16 R, 16 L、足首部のピッチ方向の関節 18 R, 18 L、同ロール方向の関節 20 R, 20 L となっており、その下部には足平 22 R, 22 L が取着されると共に、最上位には上体（筐体 24）が設けられ、その内部には制御ユニット 26 が格納される。

【0038】

上記において腰関節は関節 10 R (L), 12 R (L), 14 R (L) から構成され、また足関節は、関節 18 R (L), 20 R (L) から構成される。また、腰関節と膝関節との間は大腿リンク 32 R, 32 L で、膝関節と足関節との間には下腿リンク 34 R, 34 L で連結される。ここで、脚部リンク 2 は左右の足についてそれぞれ 6 つの自由度を与えられ、歩行中にこれらの $6 \times 2 = 12$ 個の関節（軸）をそれぞれ適宜な角度に駆動することで、足全体に所望の動きを与えることができ、任意に 3 次元空間を歩行することができる様に構成される。先に述べた様に、上記した関節は電動モータからなり、更にはその出力を倍力する減速機などを備えるが、その詳細は先に本出願人が提案した出願（特願平 1-324218 号、特開平 3-184782 号）などに述べられており、それ自体はこの発明の要旨とするところではないので、これ以上の説明は省略する。

【0039】

図 7 に示すロボット 1 において、足首部には公知の 6 軸力センサ 36 が設けられ、足平を介してロボットに伝達される x , y , z 方向の力成分 F_x , F_y , F_z とその方向まわりのモーメント成分 M_x , M_y , M_z とを測定し、足部の着地の有無と支持脚に加わる力の大きさと方向とを検出する。また足平 22 R (L) の四隅には静電容量型の接地スイッチ 38（図 7 で図示省略）が設けられて、足平の接地の有無を検出する。更に、上体 24 には傾斜センサ 40 が設置され、 $x-z$ 平面内と $y-z$ 平面内の z 軸に対する、即ち、重力方向に対する傾斜角度と

傾斜角速度を検出する。また各関節の電動モータには、その回転量を検出するロータリエンコーダが設けられる。更に、図7では省略するが、ロボット1の適宜な位置には傾斜センサ40の出力を補正するための原点スイッチ42と、フェール対策用のリミットスイッチ44が設けられる。これらの出力は前記した上体24内の制御ユニット26に送られる。

【0040】

図8は制御ユニット26の詳細を示すブロック図であり、マイクロ・コンピュータから構成される。そこにおいて傾斜センサ40などの出力はA/D変換器50でデジタル値に変換され、その出力はバス52を介してRAM54に送られる。また各電動モータに隣接して配置されるエンコーダの出力はカウンタ56を介してRAM54内に入力されると共に、接地スイッチ38などの出力は波形整形回路58を経て同様にRAM54内に格納される。制御ユニット内にはCPUからなる第1、第2の演算装置60、62が設けられており、第1の演算装置60は後で述べる様に目標関節角度を算出してRAM54に送出する。また第2の演算装置62はRAM54からその目標値と検出された実測値とを読み出し、各関節の駆動に必要な制御値を算出し、D/A変換器66とサーボアンプを介して各関節を駆動する電動モータに出力する。

【0041】

続いて、この制御装置の動作を説明する。

【0042】

図9はその動作を示すブロック図であり、図10ないし図12はその動作を示すフロー・チャートである。図10以降のフロー・チャートを参照して具体的に説明する前に、図9ブロック図を参照してこの制御を概説する。尚、以下ではx方向（進行方向）の制御だけを例にとって説明しているが、y方向（横方向）も同様である。

【0043】

図9に示す様に、この実施例においてロボットの幾何学モデルとしては剛体モデルを備え、ロボットの動力学モデルとしては、基準歩容からの上体位置摂動分の挙動を倒立振子で近似したものを備える。倒立振子の質量を m 、支点まわりの

慣性モーメントを I 、支点と重心の距離を h とする。基準歩容は、上体 24 の位置・姿勢、および両足平 22 R (L) の位置・姿勢で表現される。両足平 22 R (L) の位置・姿勢については、一步ごとの足平軌道パラメータ（例えば、遊脚着地位置や着地時刻など）が、大局的姿勢制御部から目標足平軌道生成部に与えられ、目標足平軌道生成部においてリアルタイムに各瞬間のそれらの位置や姿勢が生成される。尚、この制御においてはロボットの姿勢が崩れたとき、先ずモデルの姿勢をそれに合わせて崩し、次いで安定方向に回復させると共に、実ロボットをそれに追従制御して姿勢安定を回復する様に行っていることから、ここで「大局的」なる語は、瞬間々々ではなく、比較的長い時間をかけて滑らかに姿勢回復を最終的に実現する如く、この制御の特質を示す意味で使用する。

【0044】

また ZMP 目標軌道については、一步ごとの ZMP 目標軌道パラメータ（例えば、折れ線表現されているときは折れ点の座標や時刻）が、大局的姿勢制御部から ZMP 目標軌道生成部に与えられ、ZMP 目標軌道生成部においてリアルタイムに各瞬間のその位置が算出される。上体 24 の位置・姿勢については、ZMP 目標軌道を満足する様に、予めオフラインで作成されて時系列データとして大局的姿勢制御部に記憶され、歩行時に吐き出される。尚、以降、足平軌道パラメータと ZMP 目標軌道パラメータなど歩容の特徴を表現するものを総称して「歩容パラメータ」と呼ぶ。

【0045】

次いで、幾何学モデルに対する実ロボットの姿勢の傾き角偏差 θ_{err} と角速度偏差 ω_{err} （姿勢の傾斜などの状態量）を検出する（実ロボット 1 の関節変位が忠実にモデルに追従すると考えられるならば、姿勢の傾き角（角速度）偏差は、上体 24 の傾き角（角速度）偏差で代表して差し支えない。あるいは重心位置のずれを用いても良い。）。

【0046】

これらを状態量として、これらを 0 に収束させようと働く安定化制御則から求められる制御操作量（状態フィードバック量。目標操作量）は、モーメント、即ち、力、力のモーメントおよび力の作用点の中、モーメントの次元で算出されて

倒立振子型動力学モデルの支点に与えられる。ここで、この操作量を先に述べたと同様に、モデル操作モーメント M_{mdl} と呼ぶ。 M_{mdl} は、倒立振子型動力学モデルが受ける床反力モーメントであるとも言える。倒立振子型動力学モデルは、 M_{mdl} と重心に作用する重力の影響を受けて運動する。倒立振子の状態量、即ち、傾き角 θ_{mdl} とその角速度 ω_{mdl} の挙動は、過去の状態と支点に加えられるモーメント M_{mdl} を基に逐次計算される。

【0047】

数11の式により、上体24のx方向のずれ Δx が求められる。但し、 h_{trunk} は上体24の高さ（より正確に表現すれば、床から腰関節10, 12, 14 R (L) までの高さ）とする。

【0048】

【数11】

$$\Delta x = \theta_{mdl} \times h_{trunk}$$

【0049】

ロボット幾何学モデルの上体位置は、歩容パラメータの上体位置 x に Δx が加えられた位置に指定される。

【0050】

また、先に述べた近時提案した技術で用いられるコンプライアンス制御によって、ZMP目標位置まわりの実床反力モーメント M_{act} に応じて、基準歩容の足平位置・姿勢が修正され、それが幾何学モデルに与えられる。図9で用いられている制御では、 M_{act} から床反力モーメントフィードバック則によって仮想床傾斜角指令 θ_{ctrl} が求められ、モデルの足平位置は、目標足平軌道生成部で生成される基準歩容の足平位置をZMP目標位置を中心として仮想床傾斜角指令の分だけ、座標回転させられる。これにより、実ロボット1の姿勢傾きの挙動は、基準点（例えば、ZMP目標位置）を支点とし、支点に床から傾きに比例した床反力モーメントが発生する倒立振子に近似される。

【0051】

以上によって求められ、修正された上体位置・姿勢から、逆キネマティクス計算によって、幾何学モデルの各関節の変位が求められる。尚、このロボットでは

可動部はすべて回転自由度しかないから、関節の変位はすべて角度で表現される。実ロボット1には、その関節変位をロボット幾何学モデルの関節変位に追従させる制御システムが備えられる。

【0052】

以上のシステムにおいて、状態量 θ_{err} と ω_{err} に応じたモデル操作モーメント M_{mdl} をロボット動力学モデルに与えるフィードバック制御は、先に作用欄で説明した原理によって、 θ_{err} と ω_{err} を0に収束させる様に作用する。即ち、実ロボットとモデルの傾きが一致する様に作用する。

【0053】

ここで、図9において、倒立振子型動力学モデルにモデル操作モーメント M_{mdl} が加わって、モデルの傾き θ_{mdl} とその角速度 ω_{mdl} が中立点（直立状態）から一旦ずれると、このモデルは不安定系であるので、 θ_{mdl} , ω_{mdl} は発散する。そこで、状態量 θ_{mdl} , ω_{mdl} に応じて、次の遊脚着地位置または着地タイミングを変更することによって θ_{mdl} , ω_{mdl} の発散を抑制する。

【0054】

ところで、基準歩容におけるある一步（これを「第1歩容」と呼ぶ）において着地位置を変更すると、次の一步（これを「第2歩容」と呼ぶ）の初めでは、支持脚足平の位置だけが、基準の第2歩容の位置からずれる。このことを、第2歩容の基準座標から見ると、支持脚足平は基準歩容のままで、遊脚足平と上体の位置が変更量だけずれたことに相当する。そのまま放置すると、第1歩容と第2歩容の境界が不連続になる。そこで、ロボット幾何学モデルの歩容が連続となる様に、歩容の変わり目において次の操作を行う。

【0055】

遊脚軌道は初期位置や次期着地位置などの足平軌道パラメータで与えられているので、第2歩容の足平軌道パラメータの一つである初期遊脚位置を $-\Delta x_{foottotal}$ だけずらす。第2歩容の上体軌道はそのままとし、その代わりに倒立振子型動力学モデルの傾き角 θ_{mdl} を $-\Delta x_{foottotal}/h_{trunk}$ だけずらす。この結果、ロボット幾何学モデルの歩容の連続性を保ちつつ、倒立振子型動力学モデルの状態量の一つである傾き角 θ_{mdl} を $-x_{foottotal}/h_{trunk}$ だけ操作すること

ができる。即ち、着地位置を変更することにより、倒立振子型動力学モデルの状態量を制御することができる。

【0056】

上記を前提とし、以下図10フロー・チャートを参照して、着地位置を進行方向に変更した場合のモデル傾き制御アルゴリズムを説明する。

【0057】

まず、S10において倒立振子型モデルを安定な直立位置に初期化し、S12に進んで歩数カウンタが基準歩容で設定した目標歩数になるまで、S14からS26を繰り返す。ここで、用語を次の様に定義する。

1. 一步の歩容は、両脚支持期の初めから次の遊脚が着地するまでの期間を指す。
2. ある歩容の支持脚とは、その歩容の片脚支持期に支持脚となる脚とし、遊脚とは、その歩容の片脚支持期に遊脚となる脚とする。
3. 歩容の基準座標を、その一步の支持脚の足平接地点にとることとする。

【0058】

S14では今回の歩容パラメータをセットし、S16に進んで前回の歩容の修正後の着地位置と前回の歩容の基準歩容の着地位置との差を前記した $\Delta x_{foottotal}$ とする。次いで、S18に進んで今回の歩容の基準初期遊脚位置から $\Delta x_{foottotal}$ を減算し、S20に進んで倒立振子型モデルの傾斜角 θ_{mdl} から、 $\Delta x_{foottotal} / h_{trunk}$ だけ減算する。

【0059】

次いでS22に進み、一步分のサンプリング回数だけS24とS26を繰り返す。即ち、S24で1周期が経過したことを確認した後、S26に進んで姿勢演算および制御のサブルーチンを実施する。

【0060】

図11はそれを示し、まずS100において実ロボットの傾斜を計測し、前記した様に幾何学モデルに対する姿勢傾き角偏差 θ_{err} と傾き角速度偏差 ω_{err} を求め、S102に進んでそれらから前記したモデル操作モーメント M_{mdl} を求め、S104に進んで M_{mdl} を倒立振子型モデルの支点に加えてモデルの今回の傾

斜角 θ_{mdl} と角速度 ω_{mdl} を求める。次いで S106 に進み、前記した理由から上体ずれ Δx を図示の如く求め、S108 に進んで着地までに時間の余裕があれば、倒立振子型モデルの挙動を予測して着地目標位置パラメータの修正量 Δx_{foot} を求め、基準歩容の着地目標位置パラメータに Δx_{foot} を加算し、着地目標位置パラメータを修正する。

【0061】

これについては先にも述べたが、更に敷衍すると、着地位置の変更量は、次の一步の間に、倒立振子型動力学モデルの傾き角 θ_{mdl} と傾き角速度 ω_{mdl} 、および幾何学モデルに対する実ロボットの傾き偏差 θ_{err} と傾き角速度偏差 ω_{err} が、なるべく 0 に収束する様に決定すべきである。そのためには、 θ_{mdl} 、 ω_{mdl} 、 θ_{err} 、 ω_{err} などの現在状態から、着地位置の変更により、次の一步の間に θ_{mdl} 、 ω_{mdl} 、 θ_{err} 、 ω_{err} がどのような挙動を示すかを推測しなければならない。

【0062】

θ_{err} と ω_{err} はこの発明の根本原理によって 0 に収束するので、やや予測精度が低下するが、 θ_{err} と ω_{err} の現在状態を無視しても支障ない。つまり、 θ_{mdl} と ω_{mdl} の現在状態だけから予測計算して着地位置の変更量を決定しても差し支えない。あるいは、予め、現在状態と着地位置の変更量との関係をシミュレーションによりマップ化しておいて、実際の歩行時にこのマップを用いて着地位置の変更量を決定しても良い。

【0063】

θ_{mdl} と ω_{mdl} の現在状態だけから着地位置の変更量を決定する手法としては、竹馬ロボットなどで行われている様に、倒立振子型動力学モデルの着地瞬間の全エネルギー予測値が直立時の全エネルギーに一致する様に、変更量を決定する手法が一般的に知られている。以下にその手法を説明する。

【0064】

着地瞬間の全エネルギー予測値が直立時の全エネルギーに一致するためには、予測される着地直後の θ_{mdl} と ω_{mdl} が数 12 の式を満足する様に、着地位置が決定されなければならない。

【0065】

【数12】

$$\frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega_{mdl}^2 = mgh \cdot \sin(\theta_{mdl}) \cdot \tan(\theta_{mdl})$$

【0066】

また、直立状態に近づいていくために、 θ_{mdl} と ω_{mdl} が逆極性でなければならないから、即ち、数13の式を満足しなければならない。

【0067】

【数13】

$$\theta_{mdl} \cdot \omega_{mdl} \leq 0$$

【0068】

数12式、数13式より、数14の式が得られる。

【0069】

【数14】

$$\omega_{mdl} = - \sqrt{\frac{2mgh}{I} \cdot \sin(\theta_{mdl}) \cdot \tan(\theta_{mdl})}$$

【0070】

数14式を近似すれば、数15の式が得られる。

【0071】

【数15】

$$\omega_{mdl} = - \sqrt{\frac{2mgh}{I}} \cdot \theta_{mdl}$$

【0072】

つまり、予測される直立直後の ω_{mdl} と θ_{mdl} との比が、数15式で定められる比になる様に着地位置修正量 Δx_{foot} が決定されれば良い。着地位置を修正しない場合の予測される着地直後の ω_{mdl} と θ_{mdl} は、倒立振子で現在の ω_{mdl} , θ_{mdl} , θ_{err} , ω_{err} から動力学演算により求めることができ、それを ω_{mdle} と θ_{mdle} とする。(特に、 ω_{mdl} および θ_{mdl} に比べて θ_{err} および ω_{err} が無

視できるほど小さい場合には、解析的に容易に求めることができる。)。 θ_{mdle} を $\omega_{mdle}/\sqrt{2mgh/I}$ に修正できれば、数15式を満足する。そのためには、前述の様に、着地位置を Δx_{foot} だけ修正することによって、 θ_{mdl} を $-\Delta x_{foot}/h_{trunk}$ だけ操作することができるので、着地位置修正量 Δx_{foot} を数16の式より決定すれば良い。

【0073】

【数16】

$$\Delta x_{foot} = - \frac{\theta_{mdle} + \omega_{mdle}}{\sqrt{2mgh/I}} \cdot h_{trunk}$$

【0074】

以上の様に、着地位置修正量 Δx_{foot} が決定され、着地目標位置パラメータ x_{foot} は、歩容の途中で修正される。この修正は、着地目標位置を変更したときの足平の軌道生成計算が大変な場合には、一步ごとに1つずつだけ実行されることとなるが、足平の軌道を本出願人が近時提案した別の技術（平成4年5月22日出願、整理番号A92-0493）を用いて発生させれば、着地目標位置の変更をサンプリング周期毎に行うことができる。なぜなら、この技術を用いれば、着地目標位置パラメータの変更をサンプリング周期ごとに行っても、足平の軌道は、そこからまた滑らかに修正されるからである。但し、着地時刻に近づいてから着地位置を大幅に変更すると、遊脚軌道が急激に変わるので、着地までの残り時間に応じて再修正の可能限界量を求め、それを制限値として修正量の変化率にリミットをかけるのが望ましい。

【0075】

図11フロー・チャートにおいては次いでS110に進んでZMP目標軌道パラメータからZMP目標位置を算出し、S112に進んで着地目標位置パラメータなどの足平軌道パラメータから両足平の位置・姿勢を算出し、S114に進んで基準歩容の上体位置に θ_{mdl} と h_{trunk} の積を加算した位置を上体目標位置とし（上体の目標姿勢は基準通りとする）、S116に進んでモデル足平修正によるコンプライアンス制御を行う。

【0076】

図12はそれを示すサブルーチン・フロー・チャートであり、先ずS200において6軸力センサ36の検出値を取り込み、S202に進んでそれからZMP目標位置まわりの実床反力モーメント M_{act} を求め、S204に進んで図示の様に座標回転角 θ_{ctrl} を算出し、S206に進んでその値だけ両足平の位置・姿勢をZMPまわりに回転させ、幾何学モデルの両足平の位置・姿勢とする。尚、この制御は先の出願（平成4年4月30日）に詳細に述べられているので、ここではこの程度の説明に止める。

【0077】

次いで、図11フロー・チャートに戻り、S118に進んで上体目標位置・姿勢と修正された足平位置・姿勢から幾何学モデルの関節変位を求め、S120に進んで実ロボットの関節変位を幾何学モデルの変位に追従させる制御を行う。

【0078】

この実施例は上記の如く、モデルに対する実ロボットの傾き制御と倒立振子モデルの傾き偏差の一步ごとの離散制御により、安定な歩行を実現することができる。更に、故意にずらすZMPをモデルのそれとしたので、先に提案した制御に比べてZMPの移動範囲を大きくとることができ、姿勢復元力を大きくすることができる。従って、何らかの外乱によって傾き偏差が非常に大きくなっても、接地性を確保したまま、姿勢を安定に回復することができる。また、姿勢が崩れたときはモデルの姿勢をそれに応じて一旦崩し、その後に姿勢を回復させると共に、実ロボットをそのモデルの姿勢を追従する様に制御することから姿勢回復を滑らかな動きで実現することができる。更に、モデルは床と干渉しないことから、モデルに追従する実ロボットも床と干渉することがなく、また着地衝撃も小さい値に抑制することができる。

【0079】

図13はこの発明の第2実施例を示すブロック図である。第1実施例では倒立振子モデルの傾斜制御において、着地位置を操作量としていたが、第2実施例ではモデル操作モーメントに、新たに倒立振子モデルの傾斜に応じた操作量を加えて安定化を図る様にした。

【0080】

また第2実施例においては、幾何学モデルに対する実ロボットの傾き角偏差 θ_{err} をPDなどのフィードバック則 $H1(S)$ を通して得られる実傾き偏差制御要求制御量 $Merrdmd$ (即ち、 $Merrdmd = H1(S) \theta_{err}$) と、倒立振子モデルの傾斜角 θ_{mdl} をフィードバック則 $H2(S)$ を通して得られるモデル傾き制御要求制御量 $Mmdldmd$ (即ち、 $Mmdldmd = H2(S) \theta_{mdl}$) をリミッタおよび分配器に通して実モーメント操作量 $Mactcomm$ とモデルモーメント操作量 $Mmdl$ に分配する様にした。

【0081】

図14にリミッタおよび分配器を示す。この例においては、実モーメント操作量 $Mactcomm$ は、 $Merrdmd$ と $Mmdldmd$ の和にリミッタをかけることによって求められる。このリミッタ作用により、実ロボットの床反力が存在可能領域から超えない様に管理され、実ロボットの接地性が確保される (例えば、平地歩行であれば、床反力のZMPが接地面を含む最小凸多角形の中にあることが、床反力の存在可能条件である。)。

【0082】

モデルモーメント操作量 $Mmdl$ は、 $Mmdldmd$ に前記リミッタの入力超過分を加えることによって求められ、第1実施例と同様、倒立振子型ロボット振動動力学モデルに入力される。また、ZMPまわりの実床反力モーメント $Mact$ から床反力モーメントフィードバック則によって、床反力モーメントフィードバック操作量 θ_{comp} が求められる。 $Mactcomm$ とコンプライアンス定数 K_{comp} の積に床反力モーメントフィードバック操作量 θ_{comp} を加えることにより、仮想床傾斜角指令が求められる。幾何学モデルの足平位置は、目標足平軌道生成部で生成される基準歩容の足平位置をZMP目標位置を中心として、仮想床傾斜角指令の分だけ、座標回転させられる。

【0083】

実ロボットの傾き角偏差 θ_{err} の挙動を決定するものは、ZMPまわりの実床反力モーメント $Mact$ とモデルモーメント操作量 $Mmdl$ の差である。ところで、コンプライアンス制御が十分に柔かければ、 $Mact$ は実モーメント操作量 $Mactcomm$ にほぼ一致する。従って、この場合、実ロボットの傾き角偏差 θ_{err} の挙

動を決定するものは、Mactcomm とMmdl の差であると言っても良い。Mactcomm とMmdl の差は、前記リミッタが働いても働かなくても常にMerrdmdとなるので、幾何学モデルに対する実ロボットの傾き角偏差 θ_{err} を 0 に収束させる制御は常に働く。

【0084】

一方、モデルの傾き角 θ_{mdl} の挙動を決定するものは、Mmdl である。Mmdl は、前記リミッタが働いていないときにはMmdlmdmdに一致し、モデルの傾きを 0 に収束させる制御が正常に働く。前記リミッタが働いているときには、幾何学モデルに対する実ロボットの傾き角偏差 θ_{err} を 0 に収束させる制御を優先した上で、可能な範囲でモデルの傾きを 0 に収束させようと作用する。更に、Merrdmd がリミッタ設定値に比べて過大である場合にはモデルの傾き制御が犠牲になり、モデルの傾きは発散しようとすることもある。即ち、実ロボットの ZMP が存在可能領域の限界までまだ余裕があるときのみ、倒立振子モデル傾斜制御が実行される。従って、瞬間的な外乱や微小外乱に対しては、倒立振子モデルが直立状態に回復できるが、大きな外乱が継続すると、倒立振子モデルが直立状態に回復できなくなり、ロボット幾何学モデルの姿勢が大きく崩れて転倒する。しかし、足平の軌道が基準歩容通りであるので、階段や飛び石の上を歩行するときの様に、着地位置が制約されている際には、第 2 実施例は好適である。

【0085】

ここで、倒立振子モデルの傾き制御ゲインの設定について説明する。モデルの傾き角 θ_{mdl} を 0 に収束させる制御則を、例えば数 17 の式で与えるものとする。

【0086】

【数 17】

$$M_{mdlmdmd} = -K_{\omega} \cdot \omega_{mdl} - K_{\theta} \cdot \theta_{mdl}$$

【0087】

単純倒立振子を、現在状態から、支点にモーメントを加えず、フリーな運動をさせるときに、直立状態で静止するためには、現在の全エネルギーが直立静止状態の全エネルギーに一致していなければならない。つまり、数 18 の式が成立してい

なければならない。

【0088】

【数18】

$$\frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega_{mdl}^2 = mgh \cdot \sin(\theta_{mdl}) \cdot \tan(\theta_{mdl})$$

【0089】

また、直立状態に近づいていくために、 ω_{mdl} と θ_{mdl} が逆極性でなければならないから、数19の式を満足しなければならない。

【0090】

【数19】

$$\theta_{mdl} \cdot \omega_{mdl} \leq 0$$

【0091】

数18式、数19式より、数20の式を得る。

【0092】

【数20】

$$\omega_{mdl} = - \sqrt{\frac{2mgh}{I} \cdot \sin(\theta_{mdl}) \cdot \tan(\theta_{mdl})}$$

【0093】

数20式を近似して数21の式を得る。

【0094】

【数21】

$$\omega_{mdl} = - \sqrt{\frac{2mgh}{I}} \cdot \theta_{mdl}$$

【0095】

数21式を満足した状態にあれば、倒立振子モデルの支点到モデル操作モーメント M_{mdl} を加えなくても、直立状態で静止する。従って、数21式を満足する状態でモデル傾き制御要求制御量 $M_{mdl}dmd$ が0になるように制御則を設定すれば

、倒立振子モデルに必要な以上の余分なモデル操作モーメント M_{mdl} を発生させず、直立状態に収束させることができる。このような制御則で数 17 の式を満足するものは、数 22 の式である。

【0096】

【数 22】

$$M_{mdl}dmd = -K\omega \cdot \omega_{mdl} - K\omega \cdot \sqrt{\frac{2mgh}{I}} \cdot \theta_{mdl}$$

(ただし、 $K\omega$ は任意の正の定数)

【0097】

数 22 式を満足していても、 $K\omega$ をやや小さめに設定すると、倒立振子の挙動にオーバーシュートが発生する。 $K\omega$ をもっと小さく設定すると、重力モーメントに負けて直立状態に復元できなくなる。直立状態に復元できてかつオーバーシュートが発生しない様にするためには、フィードバックループの特性根が負の実数になることであり、そのためには、 $K\omega$ は次の数 23 式を満足しなければならない。

【0098】

【数 23】

$$K\omega \geq (2 + 2\sqrt{2}) \sqrt{mghI}$$

【0099】

数 22 式と数 23 の式を満足する様にゲインを設定すれば、 $M_{mdl}dmd$ の絶対値が小さく抑えられて $M_{actcomm}$ の絶対値も小さく抑えられるので、実ロボットの接地性が高くなる。

【0100】

図 15 から図 17 は第 2 実施例の制御を示すフロー・チャートであり、うち図 15 は S300 から S310 にメイン・ルーチンを、図 16 は S400 から S422 にその姿勢演算および制御のサブ・ルーチンを、図 17 は S500 から S506 にそのコンプライアンスおよび姿勢安定化制御のサブ・ルーチンを示す。第 1 実施例と相違する点に焦点をおいて説明すると、図 15 フロー・チャートにお

いてS304とS306との間には第1実施例の図10のS16からS20に相当するステップは存在しない。これは、姿勢演算および制御のサブルーチンで着地位置修正を行っていないためである。また、図16の姿勢演算および制御サブルーチン・フロー・チャートにおいては、先に述べた構成からS402からS406が追加されると共に、第1実施例の図11のS108に相当するステップは削除される。また図17サブルーチン・フロー・チャートにおいてはS504の座標回転角の演算で先に述べた様に、実ロボット操作モーメント $M_{actcomm}$ にコンプライアンス定数 K_{comp} を乗じたものが加算される。尚、残余の構成は、第1実施例と相違しない。

【0101】

第2実施例は足平の軌道が基準歩容通りであることから、階段や飛び石の上を歩行するときなど、着地位置が制約される際に特に好適である。

【0102】

図18はこの発明の第3実施例を示すブロック図である。第3実施例では、倒立振子モデルの傾斜制御において、第1実施例と第2実施例の制御を併用した。倒立振子モデルを直立状態に回復させるために、瞬間的な外乱や微小外乱に対しては、主に倒立振子モデルにモーメントを加える制御が働き、大きな外乱が継続すると、主に着地位置や着地タイミングを修正する制御が働く。

【0103】

第3実施例においても、着地位置や着地タイミングの修正量は、第1実施例と同様、倒立振子モデルが直立状態に戻る様に決定される。第1実施例に比べると、モデル傾き制御要求制御量 M_{mdlcmd} の影響がある分だけ、モデルの挙動予測演算が複雑になる様に見えるが、モデル傾き制御要求制御量 M_{mdlcmd} により、倒立振子モデルの発散が抑えられるので、むしろ予測精度が高いとも言える。特に、第2実施例で述べた倒立振子モデルの傾き制御ゲインの設定値（数22式と数23式を満足するゲイン）を採用すれば、倒立振子モデルの全エネルギーが直立時の全エネルギーに一致しているときには、モデル傾き制御要求制御量 M_{mdlcmd} が0になるので、第1実施例で説明した、倒立振子型動力学モデルの着地瞬間の全エネルギー予測値が直立時の全エネルギーに一致する様に、着地位置変更量を決定する手

法をそのまま活用することができる。

【0104】

図19は第3実施例のS600からS616よりなるメイン・ルーチン・フロー・チャート、図20はS700からS724よりなるその姿勢演算および制御サブルーチン・フロー・チャート、図21はS800からS806よりなるそのコンプライアンスおよび姿勢安定化制御サブルーチン・フロー・チャートである。図19のメイン・ルーチン・フロー・チャートは第1実施例のそれと、図21のサブルーチン・フロー・チャートは第2実施例のそれと同様である。また図20の姿勢演算および制御サブルーチン・フロー・チャートは、第2実施例と比べて、着地目標位置パラメータを修正するステップS712が追加されている点で異なるのみである。尚、残余の構成は従前の実施例と相違しない。

【0105】

第3実施例の場合、前述の如く、倒立振子モデルを直立状態に回復させるために、瞬間的な外乱や微小外乱に対しては主に倒立振子モデルにモーメントを加える制御が働き、大きな外乱が継続すると主に着地位置や着地タイミングを修正する制御が働くので、第1実施例に比べ、着地位置の変更量が少なくなり、歩行経路のふらつきが小さくなると共に、第1実施例、第2実施例よりも安定度が一層向上する。

【0106】

図22はこの発明の第4実施例を示すブロック図である。第1から第3までの実施例では、ロボットのモデルを、基準歩容からの上体位置摂動分に対する動力学モデルと、上体や足平位置と関節角の関係を表現する幾何学モデルに分割して備えていた。それに対し、第4実施例では、剛体リンクで構成される動力学・幾何学複合モデルを備える様にした。その他は後で述べる様に、大局的姿勢制御部の詳細が異なることを除くと、第1実施例とほぼ同一構成である。

【0107】

第4実施例において、歩容は、ZMP目標位置、および両足平の位置・姿勢で表現される。両足平の位置・姿勢については、一歩ごとの足平軌道パラメータ（例えば、遊脚着地位置や着地時刻など）が、大局的姿勢制御部から目標足平軌道

生成部に与えられ、目標足平軌道生成部において、リアルタイムに各瞬間のそれらの位置や姿勢が算出される。ZMP 目標軌道については、一步ごとの ZMP 目標軌道パラメータが、大局的姿勢制御部から ZMP 目標軌道生成部に与えられ、ZMP 目標軌道生成部においてリアルタイムに各瞬間のその位置が算出される。上体の位置・姿勢については、第 1 実施例ないし第 3 実施例では ZMP 目標軌道を満足する様に、予めオフラインで作成された時系列データとして大局的姿勢制御部に記憶されていたが、第 4 実施例ではロボットの幾何学・動力学モデルにてモデルの両足平の位置・姿勢、ZMP 目標軌道および ZMP 目標位置まわりのモデル操作モーメントを基に、リアルタイムに生成される。

【0108】

第 4 実施例のロボットモデルでは、両足平の位置・姿勢は、足平軌道生成部から与えられた足平の位置・姿勢を仮想床傾斜指令 θ_{ctrl} だけ座標回転させた位置・姿勢に変換される。ロボットモデルでは、上体の位置・姿勢が、ZMP 目標位置に発生する床反力モーメントが M_{mdl} となる様に動力学計算によって求められ、同時に各関節の変位が求められる。尚、 M_{mdl} が 0 のときには、ロボットモデルの ZMP 位置は ZMP 目標位置に一致するが、 M_{mdl} が 0 でないときには、ZMP 目標位置にモーメントが発生していることから、もはや ZMP 目標位置はロボットモデルの ZMP 位置ではなく、ロボットモデルの ZMP 位置は、ZMP 目標位置からずれたところに存在する。

【0109】

モデルの床面には、あらゆる全床反力が発生可能であると仮定する。即ち、モデルの接地面には吸着力も発生可能であるとし、例えば、平地歩行において ZMP が接地面を含む最小凸多角形を超えても、接地面が離れない（脚と床の間の拘束条件が所期通り確保される）ものとする。この様に想定することによって、モデルに対する実ロボットの傾き偏差制御において、実ロボットの全床反力を操作するだけでは不可能であった大きな復元作用も発生可能となる。従って、フィードバックゲインを大きくして短時間で偏差を 0 に収束させることができる。つまり、実ロボットは、関節変位のみならず、傾きまでもモデルに高応答で追従する。但し、モデルの全床反力の床法線方向成分は、上向き（正）になる様にとるべ

きである。なぜなら、そうしないと、実ロボットが一瞬床から浮いてしまう恐れがあるからである。

【0110】

第4実施例においては、大局的姿勢制御部において、モデルの挙動やモデルに対する実ロボットの傾き偏差などから、次の着地位置、着地タイミングまたはZMP目標軌道などの歩容パラメータを決定する。第1から第3実施例では基準歩容が存在するので、基準歩容からのずらし量を決定するだけで済むが、第4実施例においては基準歩容が存在しないので、歩容パラメータの決定が難しくなる。決定をなるべく容易にするためには、ある基準点から見たロボット全体の角運動量や重心位置などのマクロな状態量に着目すれば良い。局所的姿勢制御がこれらのマクロな状態量にあまり影響を与えない場合には、これらのマクロな状態量だけから将来の挙動を予測し、それらのマクロな状態量が発散しない様に歩容パラメータを決定すれば良い。具体的には、先に述べた竹馬型2足歩行ロボットの着地位置制御で行われている手法を用いたり、シミュレーションによりマクロな状態量に応じた適切な着地位置を予め学習させておく手法などが考えられる。

【0111】

第4実施例のロボットにおいては、ゆっくり歩行する場合には遊脚の反動が無視でき、単純倒立振子で近似することができる。ロボットが単純倒立振子で近似できる場合には、角運動量を縦軸に、重心位置を横軸にとったときの軌跡は、双曲線上を移動することが知られているので、挙動が解析的に予測でき、着地位置決定も解析的に行うことができる。竹馬型2足歩行ロボットの着地位置制御では、これを利用している。第4実施例のロボットが高速で歩行する場合（例えば、3km/hなど）には、遊脚の反動が無視できなくなり、単純倒立振子で近似できなくなる。この場合には、解析的な決定法ではなく、マクロな状態量に応じた適切な着地位置を予め学習させる手法などが有効である。学習には、人工知能、ファジー、ニューロなどが使用できよう。

【0112】

図23は第4実施例のS900からS910よりなるメイン・ルーチン・フロー・チャートを、図24はS1000からS1014よりなるその姿勢演算およ

び制御サブルーチン・フロー・チャートを、図25はS1100からS1106よりなるそのコンプライアンス制御サブルーチン・フロー・チャートを示す。図25サブルーチン・フロー・チャートは、第1実施例のそれと同様である。

【0113】

第4実施例においては、第1実施例に比べて動力学モデルがより精密になっているので、より正確な姿勢制御が実現される。特に、大きな外乱が加わってモデルの姿勢が大幅に崩れても、転倒することなく、復元することができる。

【0114】

図26はこの発明の第5実施例を示すブロック図である。この例において大局的姿勢制御部はなく、歩容パラメータ決定部は、予め外乱がない状況で長期的に安定な歩行が実現できる様に設定された一連の歩容パラメータを吐き出しているだけである。

【0115】

第5実施例において、ロボットの幾何学・動力学モデルとしては、第1モデルと第2モデルの2つが備えられる。第1モデルと第2のモデルの初期状態は、前記の予め設定された一連の歩容の初期状態に一致させておく。第1モデルには目標足平軌道とZMP目標軌道が与えられ、ZMP目標軌道を満足する様に上体軌道が生成される。歩容パラメータ決定部が上に述べた様に、予め外乱がない状況で長期的に安定な歩行が実現できる様に設定された一連の歩容パラメータを吐き出しているので、第1モデルの挙動は、その通り忠実に再現する。第2モデルには、目標足平軌道とZMP軌道以外に、第1モデルと第2モデルの上体位置の差を0に収束させる制御の操作量と、第2モデルと実ロボットの姿勢傾斜ずれを0に収束させる制御の操作量が、ZMP目標位置まわりにモーメントとして加えられる。

【0116】

第2モデルに対する実ロボットの傾き角偏差 θ_{err} をPDなどのフィードバック則 $H_1(s)$ を通して得られる実傾き偏差制御要求制御量 M_{errdmd} と、第1モデルに対する第2モデルの上体位置ずれをフィードバック則 $H_2(s)$ を通して得られるモデル上体位置制御要求制御量 M_{mdlmd} を第2実施例で用いたと同様な

リミッタおよび分配器を通して、実モーメント操作量 $M_{actcomm}$ とモデルモーメント操作量 M_{mdl} に分配する。

【0117】

ZMPまわりの実床反力モーメント M_{act} から床反力モーメントフィードバック則によって床反力モーメントフィードバック操作量 θ_{comp} が求められる。 $M_{actcomm}$ とコンプライアンス定数 K_{comp} の積に床反力モーメントフィードバック操作量 θ_{comp} を加えることにより、仮想床傾斜角指令 θ_{ctrl} が求められる。第2モーメントの足平位置は、目標足平軌道生成部で生成される足平位置をZMP目標位置を中心として、仮想床傾斜角指令の分だけ、座標回転させられる。

【0118】

第1モデルと第2モデルは、第4実施例のそれと同一で良い。但し、第1モデルにはモデルモーメント操作量 M_{mdl} と仮想床傾斜角指令 θ_{ctrl} が与えられないので、第1モデルを第2モデルと同一のプログラムで作るならば、第1モデルに入力される M_{mdl} と θ_{ctrl} を0にしておけば良い。

【0119】

図27は第5実施例のS1200からS1210よりなるメイン・ルーチン・フロー・チャートを、図28はS1300からS1318よりなるその姿勢演算および制御サブルーチン・フロー・チャートを、図29はS1400からS1406よりなるそのコンプライアンスおよび姿勢安定化制御サブルーチン・フロー・チャートを示す。第2実施例のそれらとほぼ同様である。

【0120】

第2実施例では予め上体軌道が生成されているのに対し、第5実施例では目標ZMP軌道を満足する様に、第1モデルにおいてリアルタイムに上体軌道が生成される。第5実施例の効果は、本質的に第2実施例と同じである。ただ、動力学モデルがより忠実になっているため、姿勢安定化制御の精度が高く、モデルの姿勢が大きく崩れても復元することができる。

【0121】

図30はこの発明の第6実施例を示すブロック図である。第6実施例ではモデルの姿勢安定化において、第4実施例と第5実施例の制御を併用した。第6実施

例においては、第2モデルの角運動量や重心位置などのマクロな状態量がある範囲に収めるために、瞬間的な外乱や微小外乱に対しては主に実ロボットと第2モデルにモーメントを加える制御が働き、大きな外乱が継続すると、主に着地位置や着地タイミングを変更する制御が働く。

【0122】

第1モデルは、歩容の切り替わり目において、第2モデルの状態に合わせる（つまり、一歩ごとの歩容の初めに強制的に第1モデルの初期状態を第2モデルのそのときの状態に合わせる）。こうしないと、過大な外乱が長期的に実ロボットに加わって、第2モデルに対する実ロボットの傾斜ずれが大きくなったときに、この傾斜ずれを修正しようとして第2モデルに大きな操作モーメントが作用すると、第1モデルと第2モデルの姿勢ずれを0に収束させる制御が十分効かず、第1モデルと第2モデルの姿勢ずれが発散してしまうからである。但し、第1モデルの初期状態を第2モデルに急激に合わせると、第1モデルと第2モデルの姿勢ずれを0に収束させる制御の操作量が急激に変化する恐れがあるので、第1モデルと第2モデルの姿勢ずれを0に収束させる制御のフィードバックゲインを歩容の変わり目の直前に連続的に下げておいた方が良い。

【0123】

第4実施例では不確定な外乱が実ロボットに加わることによって、モデルの挙動も不確定な挙動を示すため、モデルの将来挙動の予測精度が低下する。第6実施例では、一歩の間、第2モデルは第1モデルの挙動に収束しようとする。一歩の間、第1モデルの挙動には実ロボットに加わる外乱の影響を受けないので、第1モデルの挙動は、確定的に予想できる。従って、実ロボットに加わる外乱によって第2モデルの挙動が変化しても、しばらくすれば第1モデルの挙動に収束しようとするので、第2モデルの挙動の不確定性が減少する。即ち、第6実施例では、第4実施例に比べ、着地位置などの歩容パラメータを操作することによる姿勢安定化作用がより確実に働くこととなる。

【0124】

図31は第6実施例のS1500からS1510よりなるメイン・ルーチン・フロー・チャート、図32はS1600からS1620よりなるその姿勢演算お

よび制御サブルーチン・フロー・チャート、図33はS1700からS1706よりなるそのコンプライアンスおよび姿勢安定化制御サブルーチン・フロー・チャートである。

【0125】

第6実施例の場合は、第4実施例に比べ、モデルの将来の挙動の不確定性が小さいので、より確実かつ長期的な姿勢安定化が実現される。

【0126】

尚、第6実施例では、第1モデルと第2モデルの偏差を歩容の切り替わり目で強制的に0にしていたが、それ以外の時期でも偏差が過大になったとき、第1モデルと第2モデルロボットの偏差を0に収束させるように第1モデルに操作モーメントを加える制御を実行しても良い。但し、第1モデルに操作モーメントを加えると、上体の位置がずれて第1モデルの姿勢が崩れようとする。そこで、姿勢の崩れを防ぐために、第1モデルに操作モーメントを加えるときには同時に着地位置などの歩容パラメータも修正する。ところで、着地直前に、着地位置や着地時期を大きく変更すると、脚の挙動が急激に変化する。即ち、着地までの時間余裕が少なくなってくるにつれ、着地位置や着地時期の修正可能量は小さくなる。従って、第1モデルに操作モーメントを加え、それに見合った着地位置などの修正を行う際には、着地までの時間余裕が少なくなってくるにつれ、操作モーメントの追加量の制限値も小さくするべきである。

【0127】

更に、第5、第6実施例においては、動力学モデルが2段に構成されている。これを更に段数を増やし、実ロボットとモデルとの偏差、およびモデルと他のモデルとの偏差を制御する様にしても良い。上位のモデル（即ち、多段連結モデルのうちで実ロボットから遠く離れているモデル）ほど実ロボットに作用する外乱の影響が小さくなり、モデルの挙動予測精度が高くなる。従って、上位のモデルの挙動を基に着地位置修正量を求めれば、上位のモデルの姿勢安定性が確保でき、それより下位のモデルはモデル操作モーメントを制御することによって上位のモデルに追従するので、結果的に実ロボットと全モデルすべての姿勢安定性が確保される。摂動モデルを用いた場合も同様である。

【0128】

ここで、第2実施例などで用いたリミッタおよび分配器について説明を補足する。リミッタおよび分配器の目的は、実ロボットの接地性を確保しながら、制御操作量を分配することであるが、リミッタの変形例としては、第2実施例で挙げた例以外に、以下の様な手法やそれらの組み合わせが考えられる。

a. 制御則によってモーメントの次元で算出される操作量に、一定の制限を加える手法

b. 床反力の床垂直方向成分の実際値あるいは設計値に応じて、モーメントの次元で算出される操作量の制限値を変動させる手法

この場合、 $(ZMPのずれ量 = \text{モーメント} / \text{床反力垂直成分})$ であるから、リミッタは、ZMP目標位置からZMP存在領域の境界までの距離余裕 \times 床反力垂直成分の値に応じて変動させる方が、よりの確に接地性が確保される。

c. 目標ZMP位置からZMP存在可能領域の境界までの余裕によって、モーメントの次元で算出される操作量の制限値を変動させる手法

例えば、平地歩行では両脚支持期の間はZMP存在可能領域が大きいので、実ロボットに大きな復元力を発生させることができる。

d. 制御則によって求められる操作量を一旦ZMP位置のずれに変換し、これに目標ZMP位置からZMP存在可能領域の境界までの余裕に応じた制限を加える手法

e. 操作量がPD制御則によって求められる場合、P成分から求められる操作量にのみ制限を加え、発振を抑えるダンピング効果を持つD成分には制限を加えない手法、あるいはその逆の手法

f. 実床反力モーメント M_{act} が限界値を超えない様に、 M_{act} に応じて制限値が可変となるリミッタに、実床反力操作モーメント $M_{actcomm}$ を通す手法

g. M_{act} が限界値を超えたら、超えた分に、あるゲインを乗じて $M_{actcomm}$ から減算する手法

h. 実ロボットの床反力計測値から実ロボットのZMP位置を求め、これがZMP存在可能領域を超えそうになったら、それ以上 $M_{actcomm}$ の絶対値を増やさない手法

更に、分配を数24の式の様に単純に比例配分する手法も考えられる。

【0129】

【数24】

$$Mactcomm = a \cdot Merrdmd + Mmdlmd$$

$$Mmdl = (a - 1) \cdot Merrdmd + Mmdlmd$$

(ただし、 a は定数)

【0130】

また、周波数帯域に応じて分配する手法も考えられる。例えば、実ロボットの床反力操作量 $Mactcomm$ には、実傾き偏差制御要求制御量 $Merrdmd$ とモデル傾き(あるいはモデル上体位置)制御要求制御量 $Mmdlmd$ の高域成分だけを与え、低域をモデル操作量 $Mmdl$ に与えれば、リミッタをかけなくても実ロボットの床反力操作量は小さく抑えられるので、接地性は高くなる。

【0131】

また、第2実施例ではフィードバック則で操作量を求めてから、リミッタおよび分配器に通しているが、逆の順序で求めても良く、あるいは分配器の前後両方にリミッタを挿入する手法なども考えられよう。

【0132】

更に、第1実施例から第6実施例で述べた歩容についての記述を補足すると、通常、歩容は接地を確保するための床反力に関する要件とその他の拘束条件により記述され、これらを満足する様に関節変位が決定される。拘束条件としては、足平軌道や上体姿勢、関節の変位が無理な挙動をしないための上体高さの決定式などが用いられる。床反力に関する要件としては、代表的なものとして例えば、平面床歩行においてはZMPの存在可能領域が知られている。接地面を含む最小凸多角形がZMPの存在可能領域であり、その中にZMP目標軌道を設定し、歩容からオイラー・ニュートン方程式などを用いて動力的に求められるZMPが、ZMP目標軌道に一致する様に歩容が生成される。また、床反力に関する要件の代わりに、足首トルクのようなある特定の部位に作用する力やモーメントに関する要件を与えても良い。例えば、2足歩行ロボットの片脚支持期においては、支

持脚足首は床に近いので、足首トルクは、足首の床への垂直投影点に作用する床反力モーメントと密接な関係を持つからである。

【0133】

また、動力学モデルでは、目標床反力の要件を満足するモデルの挙動を求めなければならない。目標床反力の要件とは、例えば、ZMP目標位置にモーメント M_{mdl} が発生することである。ところで、モデルの足平位置・姿勢と上体の姿勢は歩容生成部から与えられているので、片脚あたり6自由度の実施例に係るロボットでは、上体の姿勢を決定すれば、全関節の変位が決定される。上体のうち、高さは例えば、各瞬間における膝などの関節の変位、速度、加速度などがアクチュエータの能力を超えない様に、かつ床垂直抗力が負にならない様に決定される。従って、上体の位置のうちで、残った上体の前後左右の挙動によって目標床反力の要件を満足させることとなる。しかし、各瞬間における目標床反力の要件を満足する上体前後左右位置を解析的に直接求めることは困難であるので、実際には逆に上体の位置を与え、それに対する床反力を求めながら、擬似的なニュートン法などの収束法により、目標床反力の要件を満足する上体の位置を探索する。尚、演算の高速性を重視する場合には、多少の誤差を生じても、探索回数に制限を加えれば良い。極端な場合、探索回数は1回にしても良いであろう。

【0134】

また、両脚支持期には M_{act} を大きくしても接地性が失われない。そこで、両脚支持期にリミッタ制限値を大きくしたり、モデル上体位置制御則などのゲインを高くしても良い。

【0135】

また、歩行の環境や目的によって、姿勢を重視したいときと、階段や飛び石上の歩行の様に着地位置精度を重視したいときとがある。そこで、各制御ゲインを可変にすると、状況に応じたより緻密な制御が実現できる。例えば、姿勢安定を重視したいときには、モデル上体位置制御（あるいはモデル傾き制御）の制御ゲインを下げて要求制御量 $M_{mdl}dmd$ を小さくし、モデル傾き（あるいはモデル上体位置）を0に収束させる制御を主に着地位置などの歩容パラメータ修正によって行う。こうすれば、実ロボットの操作モーメント $M_{act}comm$ が小さくなって、実

ロボットのZMP位置がZMP存在可能領域の中央付近に寄ってくるので、安定余裕が大きくなるからである。但し、その代わり着地位置などの歩容パラメータが大きく修正されるので、着地位置精度は悪くなる。また歩行の環境や目的によって、制御則の周波数ゲイン特性を調整しても、状況に応じたより緻密な制御が実現できる。

【0136】

尚、上記した第1ないし第6実施例において、実ロボットの床反力のフィードバック制御として、コンプライアンス制御を導入しているが、トルク制御を導入しても良い。床の形状が既知で、床の凹凸による外乱があまり発生しない場合や、メカニカル機構によってコンプライアンスが実現されている場合には、特に床反力フィードバック制御を行わなくても良い。その場合でもこの発明の効果が失われる訳ではない。

【0137】

更に、上記において2足歩行の脚式移動ロボットを例にとって説明してきたが、それに限られるものではなく、この発明は3足以上の脚式移動ロボットにも妥当し、更には脚式に限らず、車輪型やクローラ型など他の形態の移動ロボットに妥当するものである。

【0138】

本特許に係わる脚式移動ロボット装置のハードウェア構成は、特願2001-399496号（自在走行歩容生成）と同様である。したがって、ここでは、説明を省略し、本明細書の後半部で説明する。

【0139】

第7実施例の全体制御装置の機能ブロック図を図34に示す。以下にこれを説明する。

【0140】

実上体姿勢角偏差（すなわち、上体に備えられた傾斜角センサが検出した実ロボットの姿勢角・角速度と目標歩容の姿勢角・角速度との差）を基に、姿勢安定化制御演算部により、目標ZMPまわりの補償全床反力モーメント M_{dmd} が決定される。

【0141】

補償全床反力モーメント M_{dmd} は、特開平5-337849号（大局安定化制御特許）と同様に決定する。すなわち、次式のように決定する。

【0142】

【数25】

$$\text{補償全床反力モーメント } M_{dmd} = K_{\theta b} * \text{実上体姿勢角偏差} \\ + K_{\omega b} * \text{実上体姿勢角速度偏差}$$

【0143】

目標ZMPまわりの補償全床反力モーメント M_{dmd} は、補償全床反力モーメント分配器により、コンプライアンス制御用目標床反力モーメントとモデル操作床反力モーメントに分配される。言いかえると、実上体姿勢角偏差を基に、姿勢安定化制御演算部および補償全床反力モーメント分配器により、コンプライアンス制御用目標床反力モーメントとモデル操作床反力モーメントが決定される。

【0144】

コンプライアンス制御用目標床反力モーメントは、実ロボットの姿勢を目標歩容（正確には修正歩容）に収束させて安定化させる（復元させる）ために実ロボットに発生させる目標ZMPまわりの床反力モーメントである。モデル操作床反力モーメントは、同じ目的のために歩容生成用のロボット動力学モデルに発生させる目標ZMPまわりの床反力モーメントである。モデル操作床反力モーメントは、言い換えると、最終的に決定された（修正）目標歩容が目標ZMPまわりに発生する床反力モーメントである。

【0145】

これらは、以下のように決定される。

【0146】

まず、モデル操作床反力モーメントを次式で決定する。なお、床反力モーメント許容範囲は、後述するごとく歩容生成装置において決定される。

【0147】

【数 26】

補償全床反力モーメント $M_{dmd} >$ 床反力モーメント許容範囲上限値の場合、
 モデル操作床反力モーメント $= -$ 補償全床反力モーメント M_{dmd}
 $+ 床反力モーメント許容範囲上限値$
 補償全床反力モーメント $M_{dmd} <$ 床反力モーメント許容範囲下限値の場合、
 モデル操作床反力モーメント $= -$ 補償全床反力モーメント M_{dmd}
 $+ 床反力モーメント許容範囲下限値$
 その他の場合、
 モデル操作床反力モーメント $=$ 補償全床反力モーメント M_{dmd}

【0148】

最後に、コンプライアンス制御用目標床反力モーメントを次式で決定する。

【0149】

【数 27】

コンプライアンス制御用目標床反力モーメント
 $=$ 補償全床反力モーメント $M_{dmd} +$ モデル操作床反力モーメント

【0150】

補償全床反力モーメント分配器の上記演算と等価なブロック図を図35に示す。

【0151】

機能ブロック図である図34の説明に戻ると、歩容生成装置には、前記決定されたモデル操作床反力モーメントも入力される。歩容生成装置は、歩容生成装置において決定される目標ZMP軌道を基に、目標ZMPまわりの床反力モーメントがモデル操作床反力モーメントとなるように目標歩容を生成する。

【0152】

複合コンプライアンス動作決定部(Fz制御入り)は、歩容生成装置が生成する歩容の運動に追従しつつ、足平位置姿勢を修正することにより、目標ZMPまわりの実床反力モーメントがコンプライアンス制御用目標床反力モーメントになるように、実ロボットを制御する。

【0153】

以上説明したここまでの構成は、特開平5-337849号(大局安定化制御特許)に記載の構成において、コンプライアンス制御部を特願2001-399496号(自在走行歩容生成)に記載のコンプライアンス制御部に置き換えたも

のである。

【0154】

本出願人が提案する動作生成装置の特徴は、歩容生成装置における歩容の生成方法にある。したがって、上記のごとく、特開平5-337849号（大局安定化制御特許）の一部を特願2001-399496号（自在走行歩容生成）の一部に置き換えたことが、主旨ではないので、特開平5-337849号（大局安定化制御特許）に記載の構成と同一の全体構造としても良い。

【0155】

図36に第7実施例の歩容生成装置における目標歩容生成のフローチャートを示す。以下にこれを説明する。

【0156】

S010からS028までは、特願2001-399496号（自在走行歩容生成特許）のメインフローチャートと同一の処理を行う。したがって、ここでは説明を省略する。

【0157】

次いで、S029に進み、床反力モーメント許容範囲パラメータを決定する。なお、床反力モーメント許容範囲を、鉛直床反力で割ることによって、床反力中心点に変換したZMP許容範囲（床反力中心点許容範囲）のパラメータを設定しても良い。

【0158】

床反力モーメント許容範囲は、コンプライアンス制御によって制御される目標ZMPまわりの実床反力モーメントの許容範囲である。

【0159】

床反力モーメント許容範囲について以下に説明する。

【0160】

コンプライアンス制御は、目標ZMPまわりに発生する床反力モーメントがコンプライアンス制御用目標床反力モーメントになるように足平の位置姿勢を制御する制御である。コンプライアンス制御が目標通りに忠実に作動すると、実床反力中心点は、目標床反力モーメントを鉛直床反力で割った値を目標ZMPに加えた（

から減じた) 点になる。実床反力中心点は、いわゆる支持多角形で表されるZMP存在可能範囲(厳密な表現では、実床反力作用点の存在可能範囲)を越えることができないが、実床反力中心点が越えそうになると(すなわちZMP存在可能範囲の境界に近づき過ぎると)、足底の本来の接地感を低下させたり、足底が浮いてしまうような不具合が発生する。

【0161】

床反力モーメント許容範囲は、このような不具合を防止するために、コンプライアンス制御の目標床反力モーメントに制限を加えるものである。(厳密には、床反力モーメント許容範囲は、以下に述べる復元条件1のために設定するが、数27式を満足させる場合には、コンプライアンス制御用目標床反力モーメントが床反力モーメント許容範囲を越えないように制限することと等価になる。)

したがって、床反力モーメント許容範囲は、これを鉛直床反力で割ることによって求められる床反力中心点許容範囲が、ZMP存在可能範囲に含まれるように決定されることが望ましい。例えば、特願2001-399495号(走行歩容フルモデル補正特許)の図16(ZMP許容範囲の図)のZMP許容範囲のように支持多角形の中に含まれる長方形に領域に設定する。すなわち、特願2001-399495号(走行歩容フルモデル補正特許)における床反力モーメント許容範囲と同様に設定すれば良い。補足すると、第7実施例における床反力モーメント許容範囲と特願2001-399495号(走行歩容フルモデル補正特許)における床反力モーメント許容範囲は目的および使われ方が若干異なる。

【0162】

なお、後述する第9実施例における床反力モーメント許容範囲は、特願2001-399495号(走行歩容フルモデル補正特許)における床反力モーメント許容範囲と同一の使われ方をする。

【0163】

次いで、S030に進み、(修正)歩容瞬時値を決定する。S030では、目標ZMPまわりにモデル操作床反力モーメントが発生するように歩容瞬時値を決定する。

【0164】

具体的には、図37のフローチャートにしたがって歩容瞬時値を決定する。

以下にこれを説明する。

【0165】

S900からS910までは、特願2001-399496号（自在走行歩容生成特許）のフローチャートのS900からS910と同一の処理を行う。したがって、ここでは説明を省略する。

【0166】

次いで、S911に進み、床反力モーメント許容範囲パラメータを基に、床反力モーメント許容範囲の瞬時値を求める。また、床反力モーメント許容範囲は、分配器に送られる。

【0167】

次いで、S912に進み、目標ZMPまわりにモデル操作床反力モーメントが発生するように、今回歩容の上体水平加速度と上体姿勢角加速を決定する。ただし、床反力水平成分 F_x が床反力水平成分許容範囲 $[F_{xmin}, F_{xmax}]$ を越えないように決定する。

【0168】

言い換えると、慣性力と重力の合力が目標ZMPまわりに作用するモーメントがモデル操作床反力モーメントの符号を反転したモーメントになるように、今回歩容の上体水平加速度と上体姿勢角加速を決定する。ただし、慣性力の符号を反転した力が床反力水平成分許容範囲 $[F_{xmin}, F_{xmax}]$ を越えないように決定する。

【0169】

S912では、具体的には、図38に示すフローチャートに従って、上体水平加速度と上体姿勢角加速が決定される。これを説明すると、まずS1000において、現在時刻 t が上体傾斜角復元期間 $[T_a, T_b]$ にあるか否かを判定する。尚、上体傾斜角復元期間 $[T_a, T_b]$ は、特願2001-399496号（自在走行歩容生成）に述べているように、鉛直床反力が十分に大きく、床反力水平成分が十分に大きく発生することができる期間である。

【0170】

S1000において肯定される場合には、S1002に進み、仮に上体並進モー

ドの運動をさせた場合に、今回時刻の目標ZMPまわりにモデル操作床反力モーメントが発生するために必要な上体水平加速度 α_{tmp} を求める。

【0171】

次いでS1004からS1014まで進み、特願2001-399496号（自在走行歩容生成）におけるS1004からS1014までと同一の処理を行う。

【0172】

S1000において否定される場合には、S1016に進み、特願2001-399496号（自在走行歩容生成）の今回歩容瞬時値生成と同様、特願2001-399496号（自在走行歩容生成）のS718で設定した上体姿勢復元モーメントZMP換算値（ZMPrec）パターンを設定する。次いで、S1018およびS1020に進み、特願2001-399496号（自在走行歩容生成）におけるS1018およびS1020と同様の処理を行う。次いで、S1022に進み、仮に上体並進モードの運動をさせた場合に今回時刻の目標ZMPまわりにモデル操作床反力モーメントが発生するために必要な上体水平加速度 α_{tmp} を求める。

【0173】

次いで、S1022に進み、特願2001-399496号（自在走行歩容生成）におけるS1022と同様の処理を行う。以上がS912における処理である。すなわち、特願2001-399496号（自在走行歩容生成）のS912における処理に較べると、S1002とS1022の処理において、目標ZMPまわりの床反力モーメントを0からモデル操作床反力モーメントに変更したことを除けば、同一となる。

【0174】

以上のごとくS912の処理を行った後、S914に進み、上体水平加速度と上体姿勢角加速度を積分して上体水平速度と上体姿勢角速度を算出し、これらをさらに積分して、上体水平位置と上体姿勢角を決定する。

【0175】

以上のごとくS030の処理を行った後、S032に進み、特願2001-399496号（自在走行歩容生成）におけるS032と同様、スピン力をキャンセル

ルするための腕振り動作を決定する。次いでS034に進み、時刻 t に制御周期 Δt を加え、再び、S014に戻り、制御周期毎のタイマー割り込みを待つ。

【0176】

以上のごとく、歩容生成装置における目標歩容生成処理が行われ、目標上体姿勢、目標上体位置、目標足平位置姿勢、目標ZMPおよび目標全床反力が出力される。

【0177】

更には、目標全床反力は、コンプライアンス制御に必要な成分だけを出力しても良い。なお、目標ZMPは、目標全床反力に含まれるが特に重要であるので、あえて出力として挙げた。

【0178】

また、コンプライアンス制御装置に対しては、モデル操作床反力モーメントは、目標床反力として出力されない。すなわち、コンプライアンス制御に対しては、目標ZMPまわりの床反力モーメントが0になることを目標とする目標床反力が、歩容生成装置から送られる。

【0179】

作用1として、目標歩容の運動は、モデル操作床反力モーメントが目標ZMPまわりに発生するように生成されつつ、実際のロボットの床反力には、モデル操作床反力モーメントが付加されないように制御される。したがって、差し引きモデル操作床反力モーメント分だけ、目標歩容の運動と床反力の不平衡（アンバランス）を生じさせる。このことは、実ロボットの upper body posture angle と目標歩容の upper body posture angle との差を0に収束させる効果に関して言えば、モデル操作床反力モーメントの符号を反転した床反力モーメントを実ロボットに作用させることと等価である。

【0180】

つまり、モデル操作床反力モーメントを適宜決定することにより、実ロボットを、修正目標歩容に収束させることができる。つまり、実ロボットの姿勢を安定化させることができる。

【0181】

作用2として、上記原理説明からわかるように、モデル操作床反力モーメント

の符号を反転したモーメントとコンプライアンス制御用目標床反力モーメントの和がトータルの復元力になる。すなわち、コンプライアンス制御用目標床反力モーメントとモデル操作床反力モーメントの差がトータルの復元力になる。

【0182】

また、作用3として、モデル操作床反力モーメントは、ZMP存在可能範囲を無視していかなる値でも取ることが可能であるので、非常に高い姿勢復元力を発生することができる。

【0183】

なお、作用1、2および3は、特開平5-337849号（大局安定化制御特許）と同様である。

【0184】

また、作用4として、床反力の並進力水平成分が、床反力水平成分の許容範囲を越えないように上体並進運動モードの上体並進加速度と上体回転運動モードの上体姿勢角加速度が決定されるので、スリップを防止する。

【0185】

また、作用5として、床反力の並進力鉛直成分が0の時期、すなわち、両脚がいずれも接地していない時期では、床反力水平成分の許容範囲が0に設定されることにより、上記アルゴリズムにより自動的に、上体並進運動モードに依存せず上体回転運動モードに依存した姿勢復元が行われ、床と足底の間の摩擦力に依存せずに姿勢復元が行われる。したがって、この時期においても、単に、上体並進運動モードを修正するだけの方式と異なり、有効に姿勢復元作用が働く。なお、この時には、床反力水平成分が0になるように生成されるから、歩容の全体重心水平加速度は0となる。

【0186】

また、作用6として、上記したごとく、コンプライアンス制御に対しては、モデル操作床反力モーメントは、目標床反力として出力されない。すなわち、本出願による制御が動作しても、動作しない場合と同様、コンプライアンス制御に対しては、目標ZMPまわりの床反力モーメントが0になることを目標とする目標床反力が、歩容生成器から送られる。したがって、脚コンプライアンス制御による

床反力制御を妨げず、脚コンプライアンス制御による床反力制御を適切に行うことができる。より具体的には、足底の本来の接地性が低下したり、足底が浮いてしまうような不具合が発生することを防止または抑制することができる。

【0187】

なお、後述するように、第8実施例以降では、目標ZMPまわりの脚コンプライアンス制御用目標床反力モーメントは、床反力モーメント許容範囲を越えないように決定される。

【0188】

作用7として、目標ZMPまわりに発生するモーメントが0になるように生成される歩容を元歩容、上記のごとく目標ZMPまわりに発生するモーメントがモデル操作床反力モーメントになるように生成される歩容を修正歩容と呼ぶと、通常、元歩容と修正歩容は異なる歩容となる。元歩容は定常歩容に漸近するように設定されているので、修正歩容は、通常、定常歩容に漸近しない歩容となる。

【0189】

しかし、今回歩容の生成が完了した直後に、再びS020からS028が実行され、修正歩容の終端状態を新たな初期状態とした新たな今回歩容が、新たに設定される定常歩容に漸近するように、新たな今回歩容パラメータが決定されるので、継続的に（長期的に）安定性が保証された歩容を生成し続けることができる。

【0190】

なお、自在走行歩容生成特許において述べた他の変形された形態に対しても、上記と同様な変更を加えた制御系を構成しても良い。この場合でも、同様の効果が得られる。

【0191】

第8実施例においては、元歩容と修正歩容が同時に生成される。修正歩容は、実ロボットの姿勢安定化のために修正されると共に、コンプライアンス制御により姿勢復元に必要な床反力モーメントを発生してもまだ余裕がある（詳しくは目標ZMPまわりに発生可能な床反力モーメントに余裕がある）場合には、この余裕を用いて、可能な範囲で元歩容に収束するようにした。

【0192】

第8実施例の全体制御装置の機能ブロック図を図39に示す。

【0193】

第8実施例においては、分配器は、歩容生成装置に組み込まれる。分配器は後述するように、第7実施例よりも複雑な処理を行う。

【0194】

図40に第8実施例のメインフローチャートを示す。

【0195】

S2010からS2029までは、第7実施例のメインフローチャートと同一の処理を行う。したがって、ここでは説明を省略する。

【0196】

次いで、S2030に進み、元歩容の瞬時値を決定する。元歩容は、前述したごとく、目標ZMPまわりの床反力モーメントが0になるように生成した歩容である。特願2001-399496号（自在走行歩容生成）のS030の今回歩容瞬時値決定サブルーチンと同様の処理を行うことにより、元歩容の瞬時値を決定する。

【0197】

次いで、S2031に進み、修正歩容の瞬時値を決定する。なお、修正歩容は、目標歩容生成装置から最終的に出力される目標歩容である。

【0198】

その処理のフローチャートである図41を用いて、以下にその詳細を説明する。

【0199】

まずS2100からS2111までは、S900からS911と同様の処理を行う。

【0200】

次いで、S2112に進み、床反力モーメント許容範囲と床反力水平成分許容範囲の条件を満足するように、モデル操作床反力モーメント、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント、上体水平加速度および上体姿勢角加速を決定する。

【0201】

S2112の詳細を、その処理を示す図42のフローチャートを用いて、以下に説明する。

【0202】

まず、S2200において、修正歩容の上体水平位置と元歩容の上体水平位置の差であるモデル間上体水平位置差を求める。

【0203】

次いで、S2202に進み、修正歩容の上体姿勢角と元歩容の上体姿勢角の差であるモデル間上体姿勢角差を求める。

【0204】

次いで、S2204に進み、モデル間上体水平位置差を基に差を0に収束させるために必要なモデル上体水平位置安定化床反力モーメント要求値を決定する。単に修正歩容の上体並進モードの上体水平加速度を発生させる床反力モーメントを元歩容の上体並進モードの上体水平加速度を発生させる床反力モーメント M_{porg} に一致させると、モデル間上体水平位置差は発散する。モデル上体水平位置安定化床反力モーメント要求値は、特願2001-399496号（自在走行歩容生成）記載のモデル上体並進運動モードによって修正歩容の上体水平位置を元歩容の上体水平位置に戻すよう動作を行った時に、これに伴って発生する床反力モーメントから元歩容の上体並進運動モードの上体水平加速度を発生させる床反力モーメント M_{porg} を減じたモーメントである。

【0205】

具体的には、例えば、次式によって決定する。

【0206】

【数28】

$$\begin{aligned} & \text{モデル上体水平位置安定化床反力モーメント要求値} \\ &= K_{mp} * \text{モデル間上体水平位置差} \\ &+ K_{mpv} * \text{モデル間上体水平位置差の時間微分値} \end{aligned}$$

【0207】

ただし、 K_{mp} 、 K_{mpv} は制御ゲインである。

【0208】

次いで、S2206に進み、モデル間上体姿勢角差を基に差を0に収束させるために必要なモデル上体姿勢角安定化床反力モーメント要求値を決定する。単に修正歩容の上体回転モードの上体姿勢角加速度を発生させる床反力モーメントを元歩容の上体回転モードの上体姿勢角加速度を発生させる床反力モーメント M_{rorg} に一致させると、モデル間上体姿勢角差は0に収束しない。モデル上体姿勢角安定化床反力モーメント要求値は、特願2001-399496号（自在走行歩容生成）記載のモデル上体回転運動モードによって修正歩容の上体姿勢角を元歩容の上体姿勢角に戻すよう動作を行った時に、これに伴って発生する床反力モーメントから元歩容の上体回転運動モードの上体水平加速度を発生させる床反力モーメント M_{rorg} を減じたモーメントである。

【0209】

【数29】

モデル上体姿勢角安定化床反力モーメント要求値
 $= K_{mr} * \text{モデル間上体姿勢角差}$
 $+ K_{mrv} * \text{モデル間上体姿勢角差の時間微分値}$

【0210】

ただし、 K_{mr} 、 K_{mrv} は制御ゲインである。

【0211】

ところで、最終的に決定された修正歩容の上体並進運動モードに伴って発生する床反力モーメントから元歩容の上体並進運動モードの上体水平加速度を発生させる床反力モーメント M_{porg} を減じたモーメントを、モデル上体水平位置安定化床反力モーメントと呼ぶ。また、最終的に決定された修正歩容の上体回転運動モードに伴って発生する床反力モーメントから元歩容の上体回転運動モードの上体姿勢角加速度を発生させる床反力モーメント M_{rorg} を減じたモーメントを、モデル上体姿勢角安定化床反力モーメントと呼ぶ。

【0212】

一方、振動運動と振動床反力には線形性が近似的に成立する、すなわち、異なる振動運動を元歩容の運動に加えた運動の床反力は、元歩容の床反力にそれぞれの振動運動が発生する振動床反力を加えたものにほぼ一致する。したがって、次

式が近似的に成立する。

【0213】

【数30】

モデル操作床反力モーメント

= モデル上体水平位置安定化床反力モーメント
+ モデル上体姿勢角安定化床反力モーメント

【0214】

したがって、数30式が近似的に成立することを考慮しつつ、モデル上体水平位置安定化床反力モーメントをモデル上体水平位置安定化床反力モーメント要求値に一致またはなるべく近く、かつ、モデル上体姿勢角安定化床反力モーメントをモデル上体姿勢角安定化床反力モーメント要求値に一致またはなるべく近くなるように決定すれば、修正歩容に適切なモデル操作床反力モーメントを発生させつつ、修正歩容の上体水平加速度と上体姿勢角加速度を、元歩容の上体水平加速度と上体姿勢角加速度に可能な範囲で収束させることができる。

【0215】

そこで、S2206の後、S2208に進み、以下の条件（これらを復元条件と呼ぶ）をできる限り満足するようにモデル上体水平位置安定化床反力モーメントとモデル上体姿勢角安定化床反力モーメントを決定し、さらに、上記のモデル上体水平位置安定化床反力モーメントとモデル上体姿勢角安定化床反力モーメントの定義を満足するように、修正歩容の上体水平加速度と上体姿勢角加速度を決定する。なお、番号が小さい条件ほど優先度が高いものとする。つまり相反して両立できない条件がある場合には、番号が小さい条件を優先して満足（成立）させる。ただし、復元条件1と2は必ず満足（成立）させる。

【0216】

復元条件1) 補償全床反力モーメント M_{dmd} とモデル操作床反力モーメントの和（数27式が成立する場合には、コンプライアンス制御用目標床反力モーメントに相当）が床反力モーメント許容範囲を越えないこと。

【0217】

復元条件2) 修正歩容の床反力水平成分が床反力水平成分許容範囲を越えないこと。

【0218】

復元条件3) モデル上体姿勢角安定化床反力モーメントが、モデル上体姿勢角安定化床反力モーメント要求値に一致またはできる限り近いこと。この条件は、修正歩容の上体姿勢角が元歩容（当初決定した歩容）の上体姿勢角に収束するための条件である。

【0219】

復元条件4) モデル上体水平位置安定化床反力モーメントが、モデル上体水平位置安定化床反力モーメント要求値に一致またはできる限り近いこと。この条件は、修正歩容の上体水平位置が元歩容（当初決定した歩容）の上体水平位置に収束するための条件である。

【0220】

復元条件5) モデル上体姿勢角安定化床反力モーメントおよびモデル上体水平位置安定化床反力モーメントがそれぞれ連続であること。

【0221】

次いで、S2210に進み、数30式により、モデル操作床反力モーメントを決定する。または、修正歩容の目標ZMPまわりの床反力モーメントを直接算出して、これをもってモデル操作床反力モーメントとしても良い。

【0222】

次いで、S2212に進み、数27式により、コンプライアンス制御用目標床反力モーメントを決定する。

【0223】

最後に、S2214に進み、上体水平加速度と上体姿勢角加速度を積分して上体水平速度と上体姿勢角速度を算出する。これをさらに積分して、上体水平位置と上体姿勢角を決定する。

【0224】

なお、補足すると、動力学モデルによる歩容瞬時値決定においては、動力学モデルの状態量（あるいは前回、前前回の歩容瞬時値）も必要であるので、修正歩容生成用と元歩容生成用のふたつの動力学モデルが必要である。

【0225】

第8実施例においては、上記のごとく、元歩容と修正歩容が同時に生成され、修正歩容は、実ロボットの姿勢安定化のために修正されると共に、コンプライアンス制御により姿勢復元に必要な床反力モーメントを発生してもまだ余裕がある場合には、この余裕を用いて、可能な範囲で元歩容に収束するようにしたので、第7実施例の効果に加え、当初設定した元歩容に近い、すなわち、当初の要求通りの歩容に近い歩容を生成することができる。したがって、あらかじめ設定された移動経路がある場合には、移動経路から大きくずれることを防止する。また、修正歩容の上体姿勢角が元歩容（当初決定した歩容）の上体姿勢角に収束することを、修正歩容の上体水平位置が元歩容（当初決定した歩容）の上体水平位置に収束することよりも優先したので、上体姿勢角が大きく変動することを抑制する。

【0226】

第9実施例の全体制御装置の機能ブロック図は第8実施例と同様である。ただし、歩容生成装置における処理が異なる。

【0227】

図43に第9実施例における歩容生成装置を示す。第9実施例の歩容生成装置は、特願2001-399495号（走行歩容フルモデル補正）の第1実施例の歩容生成装置において、以下の点を変更した。

【0228】

変更点1) 上体姿勢角補正用摂動モデル制御則の出力である M_{rfdmd} に補償全床反力モーメント M_{dmd} を加える加算演算を追加した。

【0229】

変更点2) 制限手段の出力である制限床反力モーメント M_{ltd} から上体水平位置補正用モデル安定化モーメント M_{pf} と補償全床反力モーメント M_{dmd} を減じることにより上体姿勢角補正用摂動モデルモーメント $M_r (=M_{rf})$ を求めるようにした。

【0230】

変更点3) 制限手段の出力である制限床反力モーメント M_{ltd} をコンプライアンス制御用目標床反力モーメントとした。

【0231】

残余の形態は、特願2001-399495号（走行歩容フルモデル補正）の第1実施例の歩容生成装置と変わらない。

【0232】

ここで、第9実施例の各変数を第8実施例の各変数に以下のように対応させることとする。すなわち、

a) 上体姿勢角補正用振動モデル制御則の出力である上体姿勢角補正用振動モデル安定化モーメント要求値 M_{rfdmd} を、モデル上体姿勢角安定化床反力モーメント要求値に、

b) 上体水平位置補正用振動モデル制御則の出力である上体水平位置補正用振動モデル安定化モーメント要求値 M_{pfdmd} を、モデル上体水平位置安定化床反力モーメント要求値に、

c) 上体姿勢角補正用振動モデル安定化モーメント M_{rf} を、モデル上体姿勢角安定化床反力モーメントに、

d) 上体水平位置補正用モデル安定化モーメント M_{pf} を、モデル上体水平位置安定化床反力モーメントに、対応させることとする。

【0233】

上記対応関係を考慮しつつ、生成される修正歩容が、数27式および前記復元条件を満足することを以下に証明する。

【0234】

図43からわかるように、修正歩容の運動は、単純化モデル歩容の運動に上体水平位置補正用振動モデルの上体運動と上体姿勢角補正用振動モデルの上体運動を加えたものになっている。また、フルモデルの動力学から見ると、単純化モデル歩容の運動によって発生する目標ZMPまわりに発生する床反力は、フルモデル床反力モーメントであり、上体水平位置補正用振動モデルの上体運動が発生する床反力は、上体水平位置補正用振動モデルモーメント M_p であり、上体姿勢角補正用振動モデルの上体運動が発生する上体姿勢角補正用振動モデルモーメント M_r である。

【0235】

したがって、修正歩容の運動が発生する床反力モーメント、すなわちモデル操

作床反力モーメントは、次式となる。

【0236】

【数31】

モデル操作床反力モーメント
 = フルモデル床反力モーメント
 + 上体水平位置補正用摂動モデルモーメントMp
 + 上体姿勢角補正用摂動モデルモーメントMr

【0237】

また、図43からわかるように、以下の式が成立する。

【0238】

【数32】

上体水平位置補正用摂動モデルモーメントMp
 = 上体水平位置補正用モデル安定化モーメントMpf
 - フルモデル床反力モーメント

【0239】

また、上体姿勢角補正用摂動モデルモーメントMrは上体姿勢角補正用摂動モデル安定化モーメントMrfと一致させている。すなわち、次式が成立する。

【0240】

【数33】

上体姿勢角補正用摂動モデルモーメントMr
 = 上体姿勢角補正用摂動モデル安定化モーメントMrf

【0241】

したがって、数31式、数32式および数33式より次式が成立する。

【0242】

【数34】

モデル操作床反力モーメント
 = 上体水平位置補正用モデル安定化モーメントMpf
 + 上体姿勢角補正用摂動モデル安定化モーメントMrf

【0243】

数34式は、第8実施例の数30式に対応する式となっている。

【0244】

補足すると、図43において、上体水平位置補正用モデル安定化モーメントMp

fと上体姿勢角補正用振動モデル安定化モーメント M_{rf} を共に0とした場合に生成される歩容は、目標ZMPまわりのモーメントが0である。したがって、この場合に生成された歩容が元歩容に相当する。

【0245】

またさらに、図43からわかるように、次式が成立する。

【0246】

【数35】

上体姿勢角補正用振動モデル安定化モーメント M_{rf}
 = 制限床反力モーメント M_{ltd}
 - 上体水平位置補正用モデル安定化モーメント M_{pf}
 - 補償全床反力モーメント M_{dmd}

【0247】

したがって、数34式および数35式より次式が成立する。

【0248】

【数36】

制限床反力モーメント M_{ltd}
 = モデル操作床反力モーメント + 補償全床反力モーメント M_{dmd}

【0249】

ところで、特願2001-399495号（走行歩容フルモデル補正）において述べたように、制限手段によって、制限補正目標床反力モーメント M_{ltd} は、床反力モーメント許容範囲を越えないように決定される。したがって、数36式の右辺も床反力モーメント許容範囲を越えない。すなわち、復元条件1を満足する。

【0250】

さらに、数36式と変更点より、数27式が成立する。

【0251】

一方、特願2001-399495号（走行歩容フルモデル補正）において述べたように、制限手段によって、制限補正目標床反力水平成分 F_{ltd} は、床反力水平成分許容範囲内を越えないように決定される。

【0252】

また、制限補正目標床反力水平成分 F_{ltd} から上体水平位置補正用振動モデルモーメント M_p を決定するまでの演算処理は、特願2001-399495号（走行歩容フルモデル補正）と同一であるので、特願2001-399495号（走行歩容フルモデル補正）において述べたごとく、修正歩容の床反力水平成分は、制限補正目標床反力水平成分 F_{ltd} にほぼ一致する。

【0253】

したがって、修正歩容の床反力水平成分は、床反力水平成分許容範囲を越えない。すなわち、復元条件2を満足する。

【0254】

ところで、特願2001-399495号（走行歩容フルモデル補正）においては、制限手段によって、復元条件1および2を満足した上で可能な限り、制限床反力モーメント M_{ltd} から上体水平位置補正用モデル安定化モーメント M_{pf} を減じたモーメント（上体姿勢角補正用振動モデル安定化モーメント M_r ）が、上体姿勢角補正用振動モデル安定化モーメント要求値 M_{rfdmd} に一致または近い値になるように決定される。

【0255】

本実施例では、制限手段への入力である無制限時補正目標床反力モーメント M_{in} として、上体姿勢角補正用振動モデル安定化モーメント M_r の代わりに、上体姿勢角補正用振動モデル安定化モーメント M_r と補償全床反力モーメント M_{dmd} の和を入力している。したがって、復元条件1および2を満足した上で可能な限り、制限床反力モーメント M_{ltd} から上体水平位置補正用モデル安定化モーメント M_{pf} を減じたモーメントは、前記和に一致または近い値になるように決定される。よって、このことと数35式より、次のことが言える。すなわち、復元条件1および2を満足した上で可能な限り、上体姿勢角補正用振動モデル安定化モーメント M_r は、上体姿勢角補正用振動モデル安定化モーメント要求値 M_{rfdmd} に一致または近い値になるように決定される。すなわち、復元条件3を満足する。

【0256】

また、上体水平位置補正用振動モデル安定化モーメント要求値 $M_{pf dmd}$ から上体水平位置補正用振動モデル安定化モーメント M_{pf} を決定するまでの演算処理は、

特願2001-399495号（走行歩容フルモデル補正）と同一であるので、特願2001-399495号（走行歩容フルモデル補正）において述べたように、制限手段によって、復元条件1、2および3を満足した上で可能な限り、上体水平位置補正用振動モデル安定化モーメント M_p は、上体水平位置補正用振動モデル安定化モーメント要求値 M_{pfdmd} に一致または近い値になるように決定される。すなわち、復元条件4を満足する。

【0257】

また、特願2001-399495号（走行歩容フルモデル補正）の制限手段は、入力が連続であれば、出力も連続となる。したがって、復元条件5を満足する。

【0258】

以上のごとく、前記復元条件すべてを満足する。したがって、第8実施例と同様の効果を持つ。

【0259】

また、第8実施例の効果に加え、前記復元条件を満足するように上体水平位置、上体姿勢角を決定する際に、探索手法などの処理時間の多い手法を用いないので、演算量が比較的少ない。

【0260】

図44に第10実施例における歩容生成装置を示す。第10実施例における歩容生成装置は、特願2001-399495号（走行歩容フルモデル補正）の第2実施例の歩容生成装置において、上記変更点1、2および3に従って変更をした。残余の形態は、第9実施例の歩容生成装置と変わらない。したがって、第9実施例と同様の効果を持つ。

【0261】

第11実施例の全体制御装置の機能ブロック図は第9実施例と同様である。ただし、歩容生成装置における処理が異なる。

【0262】

第11実施例における歩容生成装置の機能ブロック図を、図45に示す。特願2001-399495号（走行歩容フルモデル補正）の第5実施例の歩容生成

装置である図32に較べ、擬似順フルモデルに補償全床反力モーメント M_{dmd} が入力される点異なる。

【0263】

図46は、本実施例における擬似順フルモデルであり、特願2001-399495号（走行歩容フルモデル補正）の第5実施例の擬似順フルモデルにおいて、上記変更点1、3および以下の変更点2aに従って変更をした。補足すると、変更点2aは変更点2と変数名だけが異なる。

【0264】

変更点2a) 制限手段の出力である制限床反力モーメント M_{ltd} から上体水平位置安定化モーメント M_{pf} と補償全床反力モーメント M_{dmd} を減じることにより単純化モデル上体姿勢角補正用モーメント $M_r (=M_{rf})$ を求めるようにした。

【0265】

歩容生成装置の残余の形態は、第9実施例および第10実施例の歩容生成装置と変わらない。したがって、第10実施例と同様の効果を持つ。

【0266】

図47に第12実施例における歩容生成装置を示す。第12実施例における歩容生成装置は、特願2001-399495号（走行歩容フルモデル補正）の第4実施例の歩容生成装置において、上記変更点1、2および3に従って変更をした。残余の形態は、第10実施例およびまたは第11実施例の歩容生成装置と変わらない。したがって、第10実施例およびまたは第11実施例と同様の効果を持つ。

なお、補償全床反力モーメント M_{dmd} は、上体姿勢角・姿勢角の代わりに、全体重心水平位置・速度など、他の姿勢に関する状態量に基づいて決定しても良い。

【0267】

第9、10および11実施例において、単純化モデルによる歩容生成（単純化モデル歩容生成）には、第1実施例、第2実施例の歩容生成装置を用いても良い。フルモデルによる補正量を小さくすることができるので、補正された歩容が単純化モデル歩容から大きくずれることを防止できる。

【0268】

また、歩容の補正手段としては、特願2001-399495号（走行歩容フルモデル補正）の他のあらゆる形態（あらゆる実施例、バリエーション）を用いても良い。

【0269】

第7実施例においては、補償全床反力モーメント M_{dmd} が床反力モーメント許容範囲を越えると、（第8実施例以降においては、補償全床反力モーメント M_{dmd} とモデル操作床反力モーメントの和が床反力モーメント許容範囲を越えると、）コンプライアンス制御用目標床反力モーメントは、床反力モーメント許容範囲の上限値あるいは下限値になるが、補償全床反力モーメント M_{dmd} （第8実施例以降においては、補償全床反力モーメント M_{dmd} とモデル操作床反力モーメントの和）が床反力モーメント許容範囲を越えていても、補償全床反力モーメント M_{dmd} （第8実施例以降においては、補償全床反力モーメント M_{dmd} とモデル操作床反力モーメントの和）の増加（減少）に応じてコンプライアンス制御用目標床反力モーメントも増加（減少）するようにしても良い。コンプライアンス制御用目標床反力モーメントが床反力モーメント許容範囲に接近すると、コンプライアンス制御によって制御される実床反力モーメントが目標よりも少なめになる傾向があり、コンプライアンス制御用目標床反力モーメントが少々許容範囲を越えても、すぐには、足底の本来の接地感を低下させたり、足底が浮いてしまうような不具合が発生しない場合が多いからである。

【0270】

同様に理由により、床反力モーメント許容範囲をいわゆる支持多角形で表されるZMP存在可能範囲（厳密な表現では、実床反力作用点の存在許容範囲）をモーメントに換算して得られる許容範囲を越えて設定しても良い。

【0271】

コンプライアンス制御によって発生する床反力モーメントに過度に期待すると、上記のごとく足底の本来の接地感を低下させたり、足底が浮いてしまうような不具合が発生する。よって、床反力モーメント許容範囲は、姿勢制御がコンプライアンス制御に期待する実床反力モーメントの許容値であると言える。

【0272】

床反力モーメント許容範囲は、歩容パラメータからのみならず、検出された実床反力にも基づいて決定しても良い。また、階段でのエッジ位置検出値など、接地領域の検出値にも基づいて決定してもよい。

【0273】

S028における今回歩容パラメータの修正（目標ZMPの修正）を制御周期毎に実行するように、メインフローチャートの処理を変更しても良い。

【0274】

修正歩容（目標歩容）が元歩容より大きくずれてしまう場合（発散してしまう場合）には、次回歩容の歩容パラメータ修正をする頃に既に、大きくずれて過ぎてしまい（発散し過ぎてしまい）、次回歩容の歩容パラメータ修正だけでは、継続的長期的に安定な目標歩容を生成することが困難になる。今回歩容パラメータの修正（目標ZMPの修正）を制御周期毎に実行することによって、この問題をかなり解決することができる。

【0275】

さらには、元歩容からのずれ具合によって、今回歩容の足平着地位置や着地時刻などを制御周期毎に変更しても良い。

【0276】

具体的には、S020からS029までの処理を制御周期毎に実行するように処理フローを変更しておき、S020において、次回歩容支持脚座標系（次回歩容支持脚座標系は、次の足平着地位置姿勢に対応）、次次回歩容支持脚座標系（次次回歩容支持脚座標系は、次の次の足平着地位置姿勢に対応）、今回歩容周期（今回歩容周期は、次の足平着地時刻に対応）および次回歩容周期（次回歩容周期は、定常歩容の周期に相当）の少なくともいずれかを、S028における今回歩容パラメータの修正（特に目標ZMPの修正）が小さくなるように（すなわち、今回歩容の安定余裕が高く維持されるように）、適宜変更すれば良い。

【0277】

さらには、上記以外の歩容パラメータを変更しても良い。

【0278】

また、他の実施例に対しても同様に、処理フローを変更して良い。

【0279】

復元条件には、上記条件以外にも、関節角が許容範囲を越えていないか、脚などの干渉がないか、関節角速度、トルクが過大でないかなどのキネマティクス条件、ダイナミクス条件を加えても良い。

【0280】

また、これに伴って、前述したごとく、今回歩容パラメータの修正（目標ZMPあるいは着地位置、時刻などの修正）を制御周期毎に実行するようにメインフローチャートの処理を変更した場合には、今回歩容の安定余裕が高く維持されるように適宜変更される歩容パラメータの値が、適切な値になるように（ある制約条件を満足するように）することも、復元条件のひとつに加えても良い。

【0281】

歩容の切り変わり目で決定された（読み込まれた）着地位置、着地時刻は、上位の制御装置からの指示（歩行計画決定部やオペレータからの指示など。これを当初の要求と呼ぶ。）によって決定されるので、修正歩容の着地位置、着地時刻は、できる限り歩容の切り変わり目で決定された（読み込まれた）着地位置、着地時刻に戻るべきである。そこで、歩容の切り変わり目で決定された（読み込まれた）着地位置、着地時刻を記憶し、修正歩容の着地位置、着地時刻が、記憶された着地位置、着地時刻にできる限り一致または近づくことも復元条件に加えても良い。ただし、実は、復元条件3および復元条件4によって、修正歩容の着地位置、着地時刻は、できる限り歩容の切り変わり目で決定された（読み込まれた）着地位置、着地時刻に徐々に戻る作用が働くので、あえて追加する必要はない。

【0282】

また、状況に変化に対応して、当初の要求を変更し、変更した要求を満足する歩容パラメータに、上記のごとく歩容の安定余裕を高く維持するために適宜変更される歩容パラメータが、できる限り一致または近づくことを復元条件に加えても良い。この場合、上記復元条件3および復元条件4は削除するべきである。

【0283】

中間的な要求あるいはファジー等で決定したまったく不連続的な異なる要求に

変更し、元の要求を忘れる。

これらの条件を満足するモデル上体水平位置安定化床反力モーメントとモデル上体姿勢角安定化床反力モーメントの決定法には、制約条件下で最適値を求めるための線形計画法（シンプレックス法など）や探索法を用いれば良い。または、ファジー推論を用いても良い。

【0284】

また、着地位置を変更する場合には、歩行環境の障害物なども考慮しなければならない状況も考えられる。このような状況にも対処できるようにするためには、環境認識や行動決定などの人工知能の分野に属する処理も加えて、修正歩容を決定すべきである。

【0285】

制限手段のブロック図は、特願2001-399422（汎用リミッター）に示すように、等価変換あるいは近似変換しても良い。

【0286】

この場合、上体水平位置補正用モデル安定化モーメント M_{pf} を h で割った値をローパスフィルタに通した値を補正目標床反力水平成分（フルモデル床反力水平成分 F_{full} ）から減じた値がバイアス推定値 $dest_m$ に相当する。したがって、例えば、ゲイン K_c の積分を、時定数 $1/K_c$ の1次遅れをフィードバック要素としたポジティブフィードバック系に置き換えたりして、図48のように、近似変換をしても良い。

【0287】

また、自在走行歩容生成特許ないしはフルモデル補正特許において述べた他のあらゆる形態に対して、上記と同様な変更を加えた制御系を構成しても良い。この場合でも、同様の効果が得られる。

【0288】

第7実施例においては、特開平5-337849号（大局安定化制御特許）に記載の構成に加え、床反力の並進力水平成分が床反力水平成分の許容範囲を越えないように、床反力水平成分と目標ZMPまわりの床反力モーメントの発生の割合が異なるふたつの運動モードの挙動、例えば、上体並進運動モードの上体並進

加速度と上体回転運動モードの上体姿勢角加速度が決定されるので、

実ロボットを、修正目標歩容に収束させることができる。つまり、実ロボットの姿勢を安定化させることができる。

【0289】

また、コンプライアンス制御用目標床反力モーメントとモデル操作床反力モーメントの差がトータルの復元力になる。

【0290】

また、モデル操作床反力モーメントは、ZMP存在可能範囲を無視していかなる値でも取ることが可能であるので、非常に高い姿勢復元力を発生することができる。

【0291】

また、床反力の並進力水平成分が、床反力水平成分の許容範囲を越えないので、スリップを防止する。

【0292】

また、床反力の並進力鉛直成分が0の時期、すなわち、両脚がいずれも接地していない時期では、上体並進運動モードに依存せずに上体回転運動モードに依存した姿勢復元が行われ、床と足底の間の摩擦力に依存せずに効果的に姿勢復元が行われる。

【0293】

また、実床反力モーメントが過大になることを防止するので、足底の本来の接地性が低下したり、足底が浮いてしまうような不具合が発生することを防止または抑制することができる。

【0294】

また、修正歩容の終端状態（現在上体）を新たな初期状態とした新たな今回歩容が、定常歩容に漸近するように、今回歩容パラメータが決定または変更されるので、継続的に（長期的に）安定性が保証された歩容を生成し続けることができる。

【0295】

第8実施例においては、上記のごとく、元歩容と修正歩容が同時に生成され、

修正歩容は、実ロボットの姿勢安定化のために修正されると共に、コンプライアンス制御により姿勢復元に必要な床反力モーメントを発生してもまだ余裕がある場合には、この余裕を用いて、可能な範囲で元歩容に収束するようにしたので、第7実施例の効果に加え、当初設定した元歩容に近い、すなわち、当初の要求通りの歩容に近い歩容を生成することができる。したがって、あらかじめ設定された移動経路がある場合には、移動経路から大きくずれることを防止する。また、修正歩容の上体姿勢角が元歩容（当初決定した歩容）の上体姿勢角に収束することを、修正歩容の上体水平位置が元歩容（当初決定した歩容）の上体水平位置に収束することよりも優先したので、上体姿勢角が大きく変動することを抑制する。

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1は本出願人が先に提案したZMP制御を示す説明図である。

【図2】

図1に示す制御において実ZMPが目標ZMP（モデルから設定されるZMP）からずれた状態を示す説明図である。

【図3】

この発明に係る脚式移動ロボットの姿勢安定化制御装置の特徴（原理）を示す説明図である。

【図4】

この発明の原理（特徴）を説明するものであって、単純な実ロボットの構造パラメータと実ロボットの基本局所制御を示す説明図である。

【図5】

図4に例示したものとこの発明の原理（特徴）を比較する説明ブロック図である。

【図6】

図5に示すブロック図を変形したものを簡略的に示す説明図である。

【図7】

この発明に係る脚式移動ロボットの姿勢安定化制御装置を全体的に示す概略図

である。

【図 8】

図 7 に示す制御ユニットのブロック図である。

【図 9】

この発明の第 1 実施例の動作を示すブロック図である。

【図 1 0】

第 1 実施例の動作を示すメイン・ルーチン・フロー・チャートである。

【図 1 1】

図 1 0 フロー・チャートのうちの姿勢演算および制御のサブルーチン・フロー・チャートである。

【図 1 2】

図 1 0 フロー・チャートのうちのコンプライアンス制御のサブルーチン・フロー・チャートである。

【図 1 3】

この発明の第 2 実施例の動作を示すブロック図である。

【図 1 4】

第 2 実施例で使用するリミッタおよび分配器を説明するブロック図である。

【図 1 5】

第 2 実施例の動作を示すメイン・ルーチン・フロー・チャートである。

【図 1 6】

図 1 5 フロー・チャートの中の姿勢演算および制御のサブルーチン・フロー・チャートである。

【図 1 7】

図 1 5 フロー・チャートの中のコンプライアンスおよび姿勢安定化制御のサブルーチン・フロー・チャートである。

【図 1 8】

この発明の第 3 実施例の動作を示すブロック図である。

【図 1 9】

第 3 実施例の動作を示すメイン・ルーチン・フロー・チャートである。

【図20】

図19フロー・チャートの中の姿勢演算および制御のサブルーチン・フロー・チャートである。

【図21】

図19フロー・チャートの中のコンプライアンスおよび姿勢安定化制御のサブルーチン・フロー・チャートである。

【図22】

この発明の第4実施例の動作を示すブロック図である。

【図23】

第4実施例の動作を示すメイン・ルーチン・フロー・チャートである。

【図24】

図23フロー・チャートの中の姿勢演算および制御のサブルーチン・フロー・チャートである。

【図25】

図23フロー・チャートの中のコンプライアンス制御のサブルーチン・フロー・チャートである。

【図26】

この発明の第5実施例の動作を示すブロック図である。

【図27】

第5実施例の動作を示すメイン・ルーチン・フロー・チャートである。

【図28】

図27フロー・チャートの中の姿勢演算および制御のサブルーチン・フロー・チャートである。

【図29】

図27フロー・チャートの中のコンプライアンスおよび姿勢安定化制御のサブルーチン・フロー・チャートである。

【図30】

この発明の第6実施例の動作を示すブロック図である。

【図31】

第6実施例の動作を示すメイン・ルーチン・フロー・チャートである。

【図32】

図31フロー・チャートの中の姿勢演算および制御のサブルーチン・フロー・チャートである。

【図33】

図31フロー・チャートの中のコンプライアンスおよび姿勢安定化制御のサブルーチン・フロー・チャートである。

【図34】

本発明の実施例を示す説明図

【図35】

本発明の実施例を示す説明図

【図36】

本発明の実施例を示す説明図

【図37】

本発明の実施例を示す説明図

【図38】

本発明の実施例を示す説明図

【図39】

本発明の実施例を示す説明図

【図40】

本発明の実施例を示す説明図

【図41】

本発明の実施例を示す説明図

【図42】

本発明の実施例を示す説明図

【図43】

本発明の実施例を示す説明図

【図44】

本発明の実施例を示す説明図

【図 4 5】

本発明の実施例を示す説明図

【図 4 6】

本発明の実施例を示す説明図

【図 4 7】

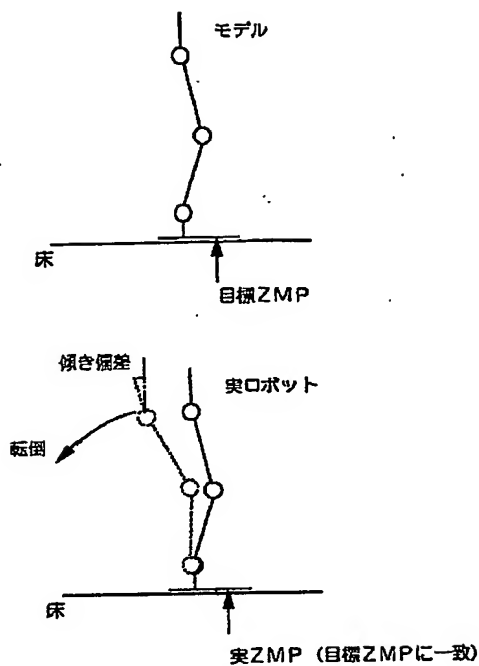
本発明の実施例を示す説明図

【図 4 8】

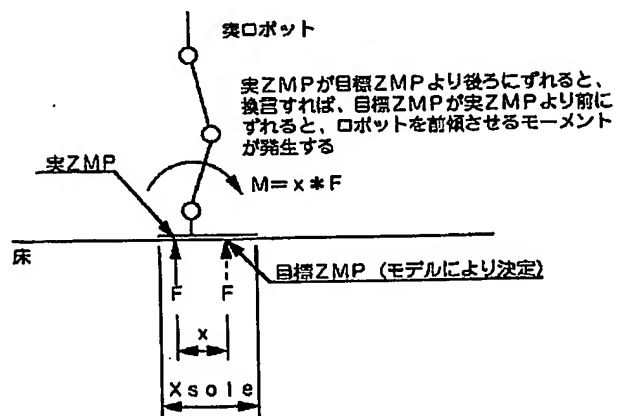
本発明の実施例を示す説明図

【書類名】 図面

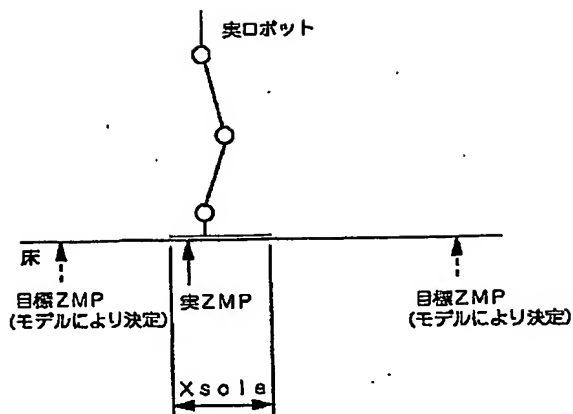
【図 1】



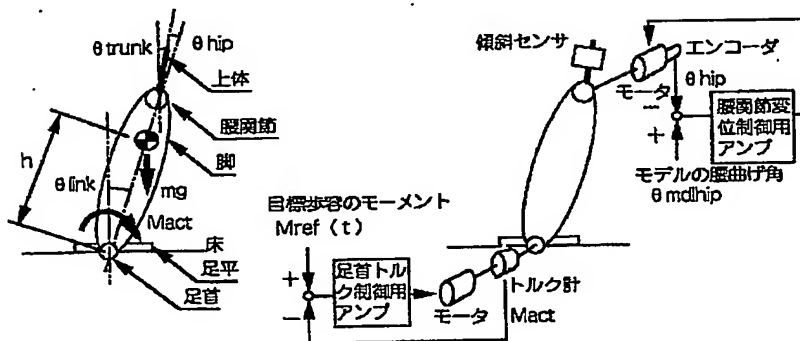
【図 2】



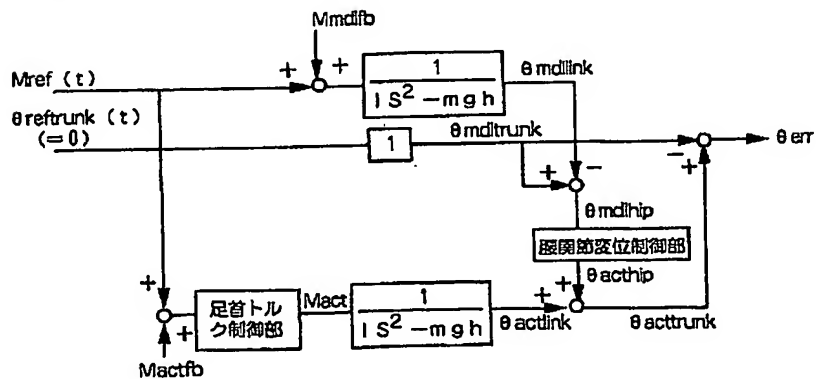
【図 3】



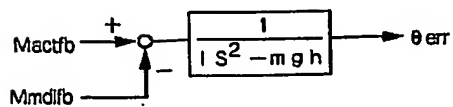
【図 4】



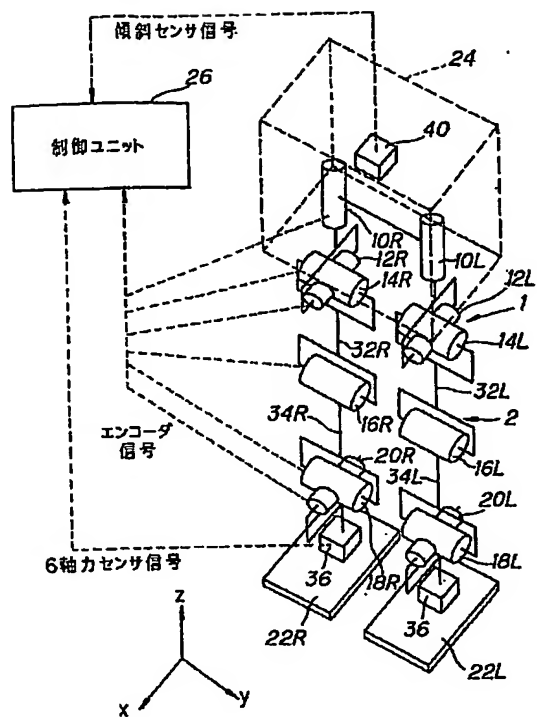
【図 5】



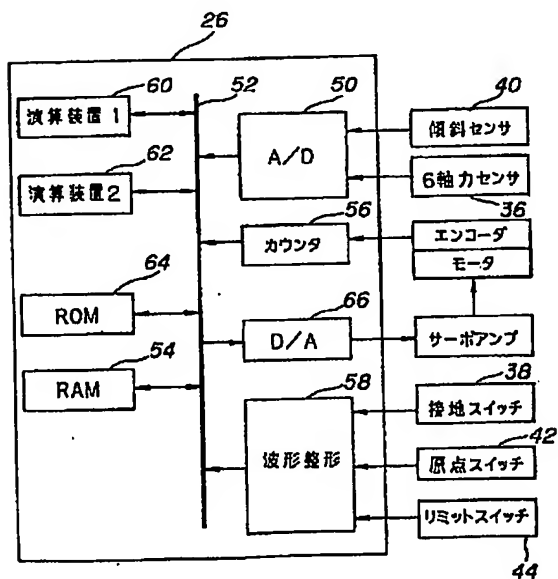
【図 6】



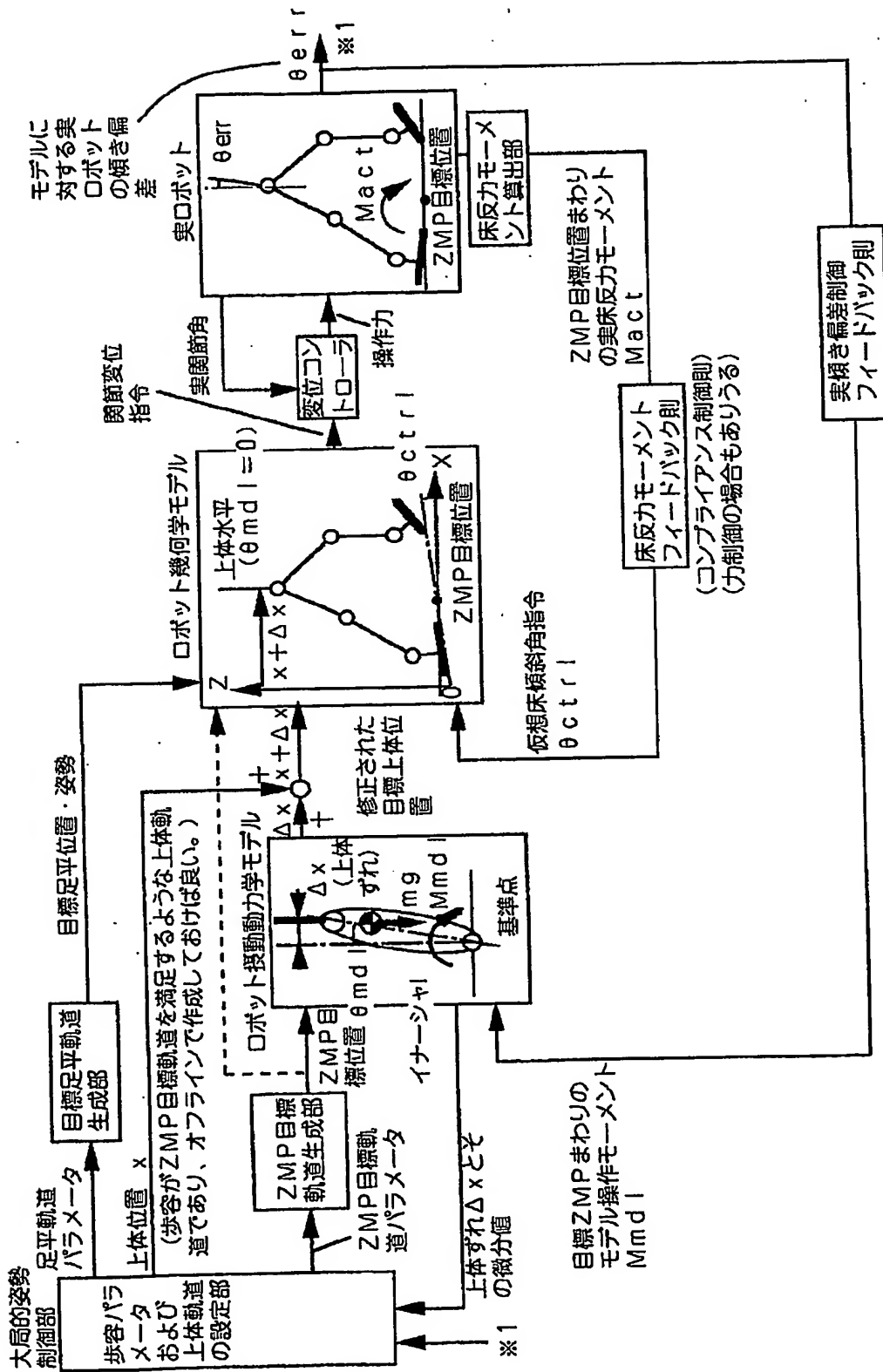
【図7】



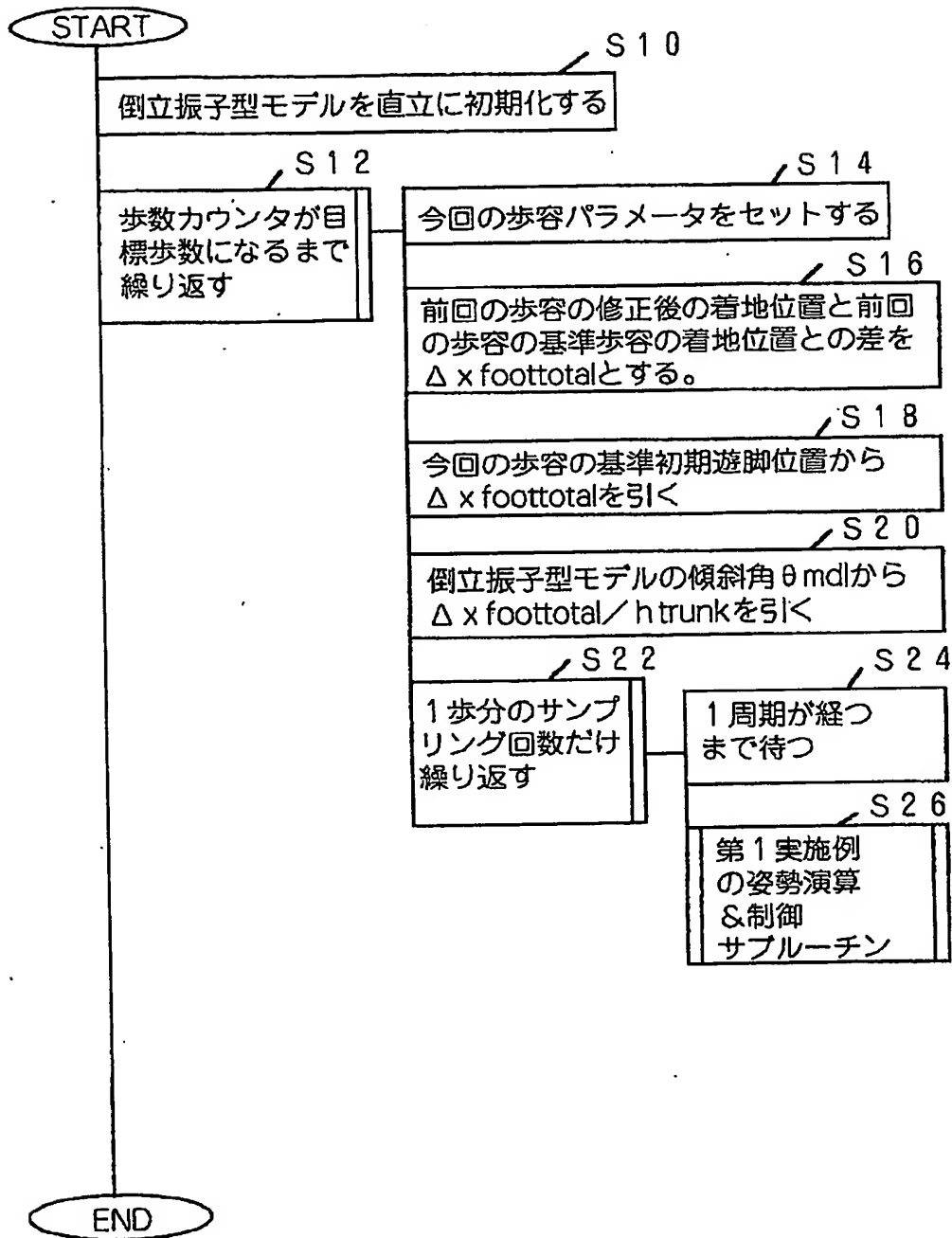
【図8】



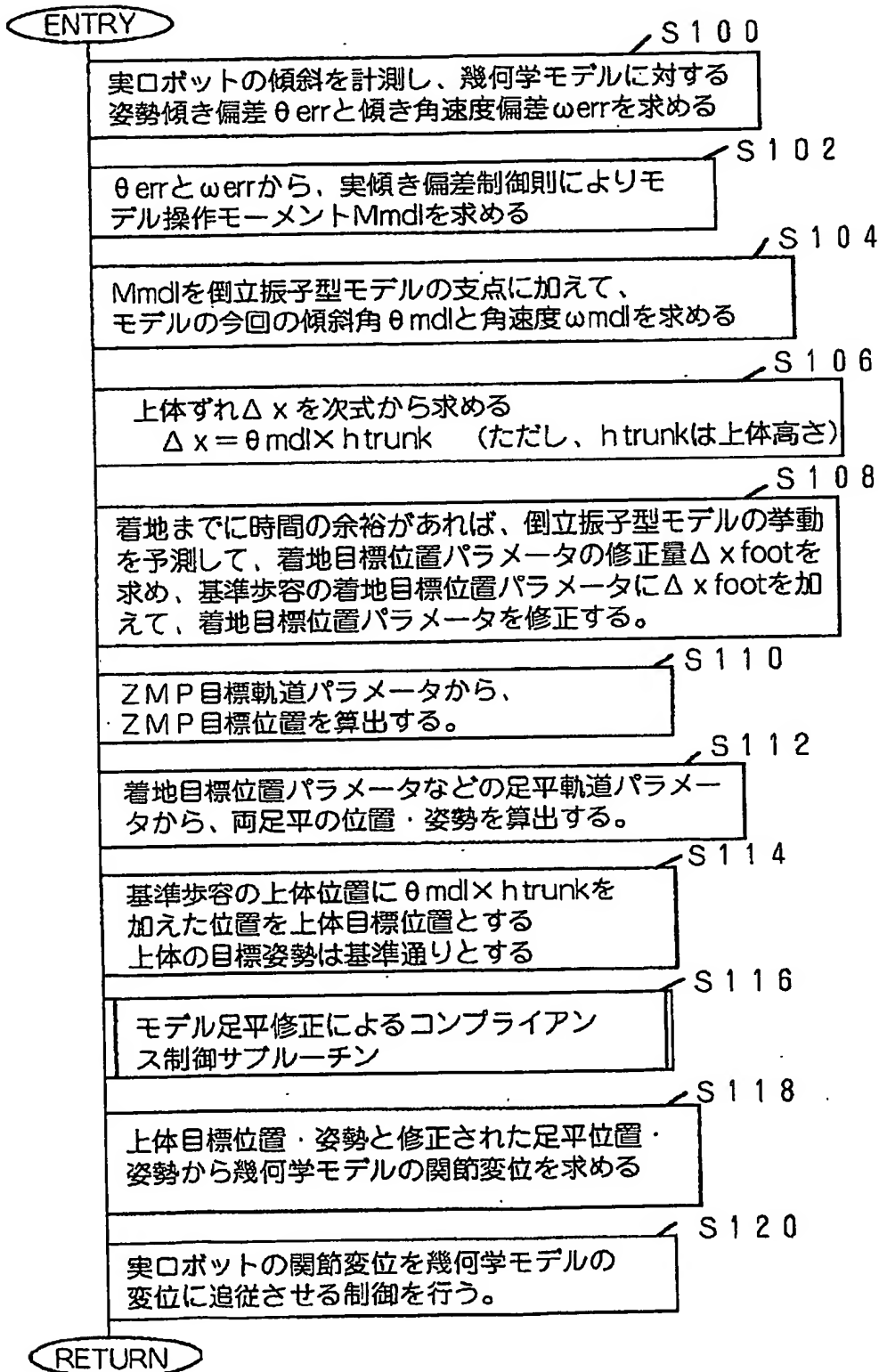
【図 9】



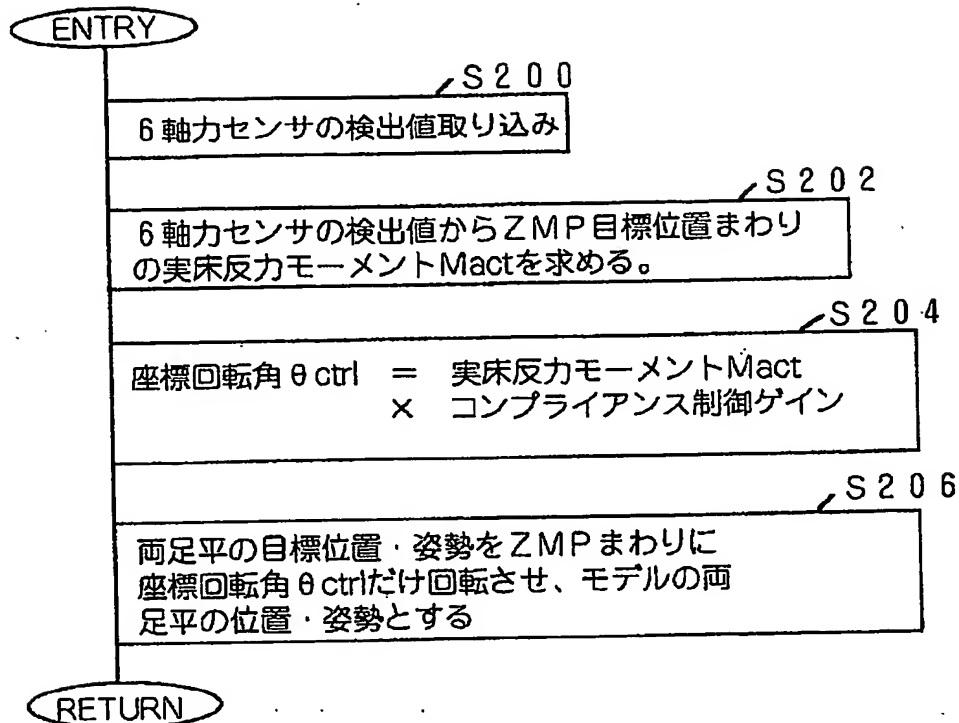
【図10】



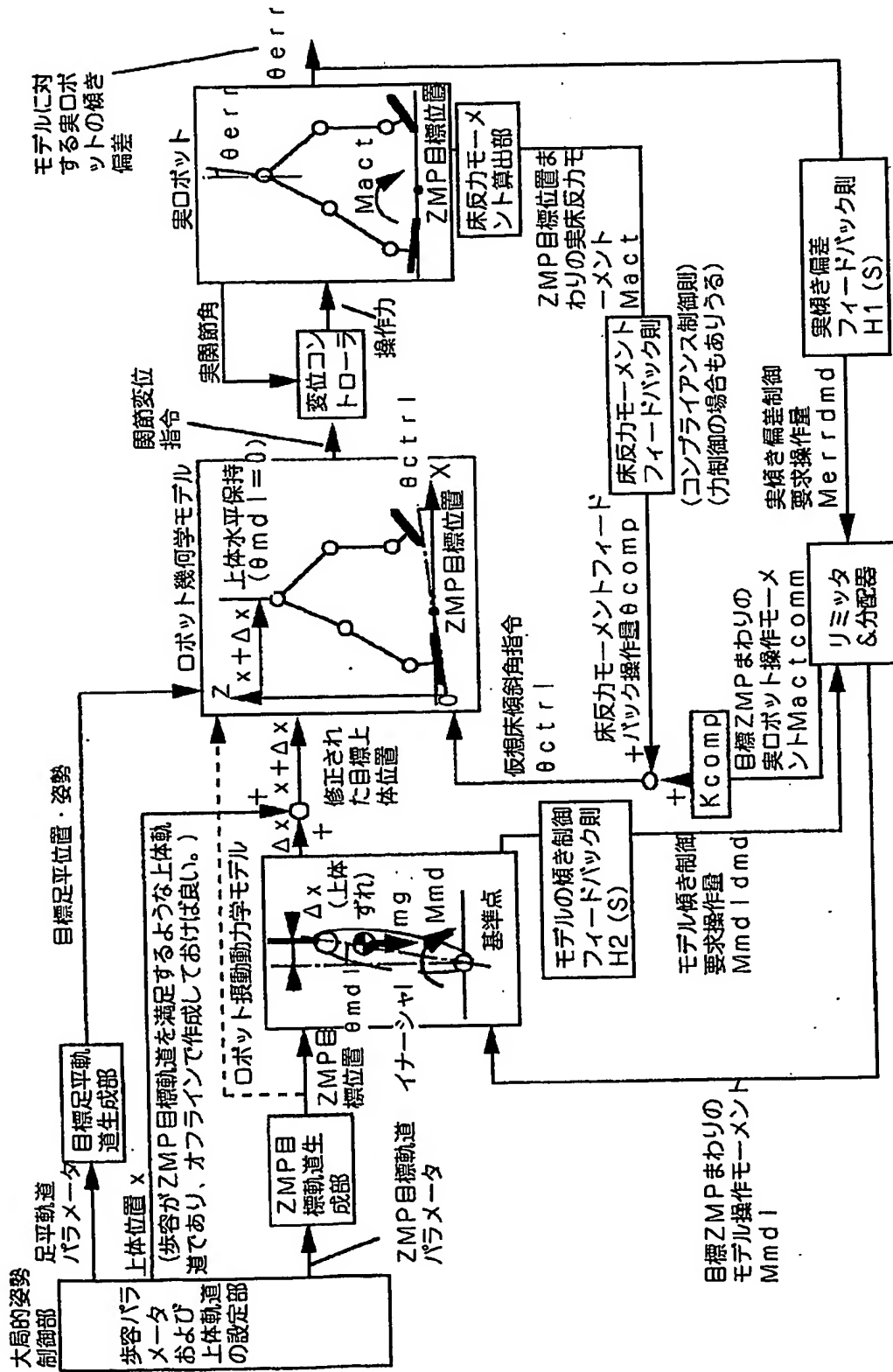
【図 11】



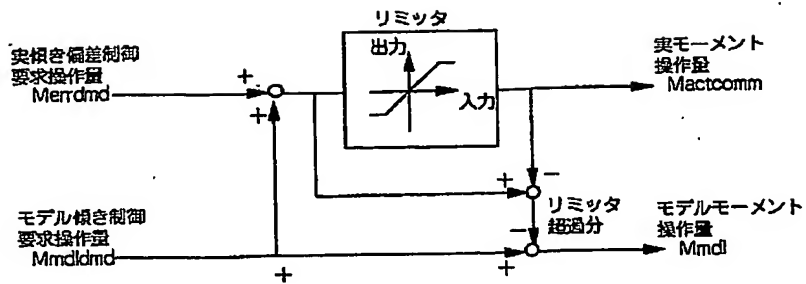
【図12】



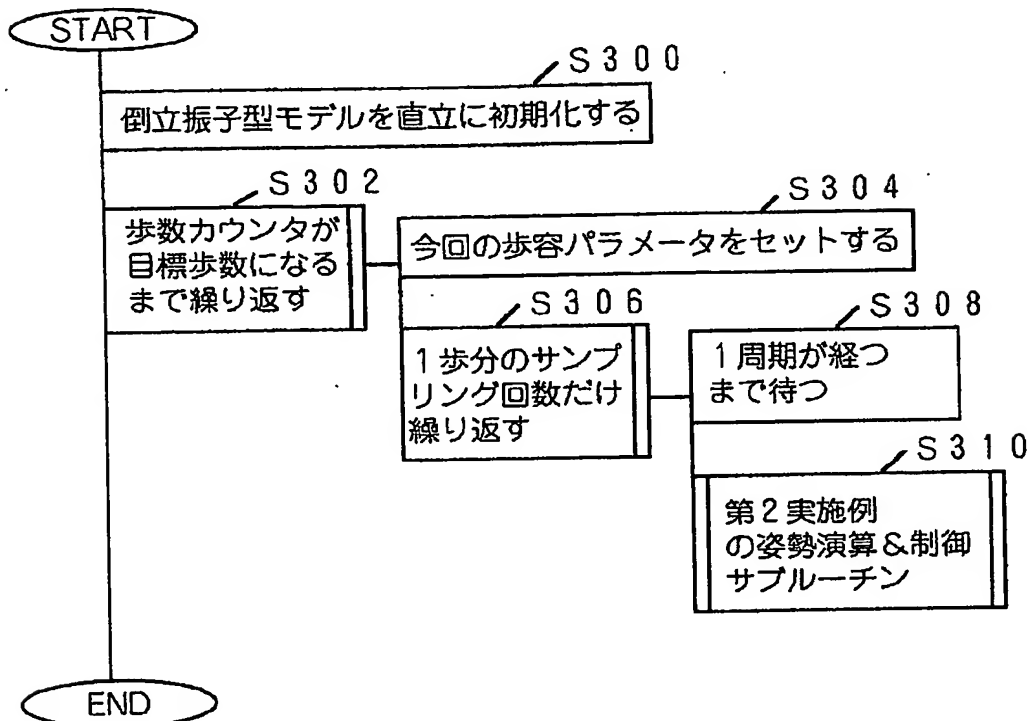
【図 13】



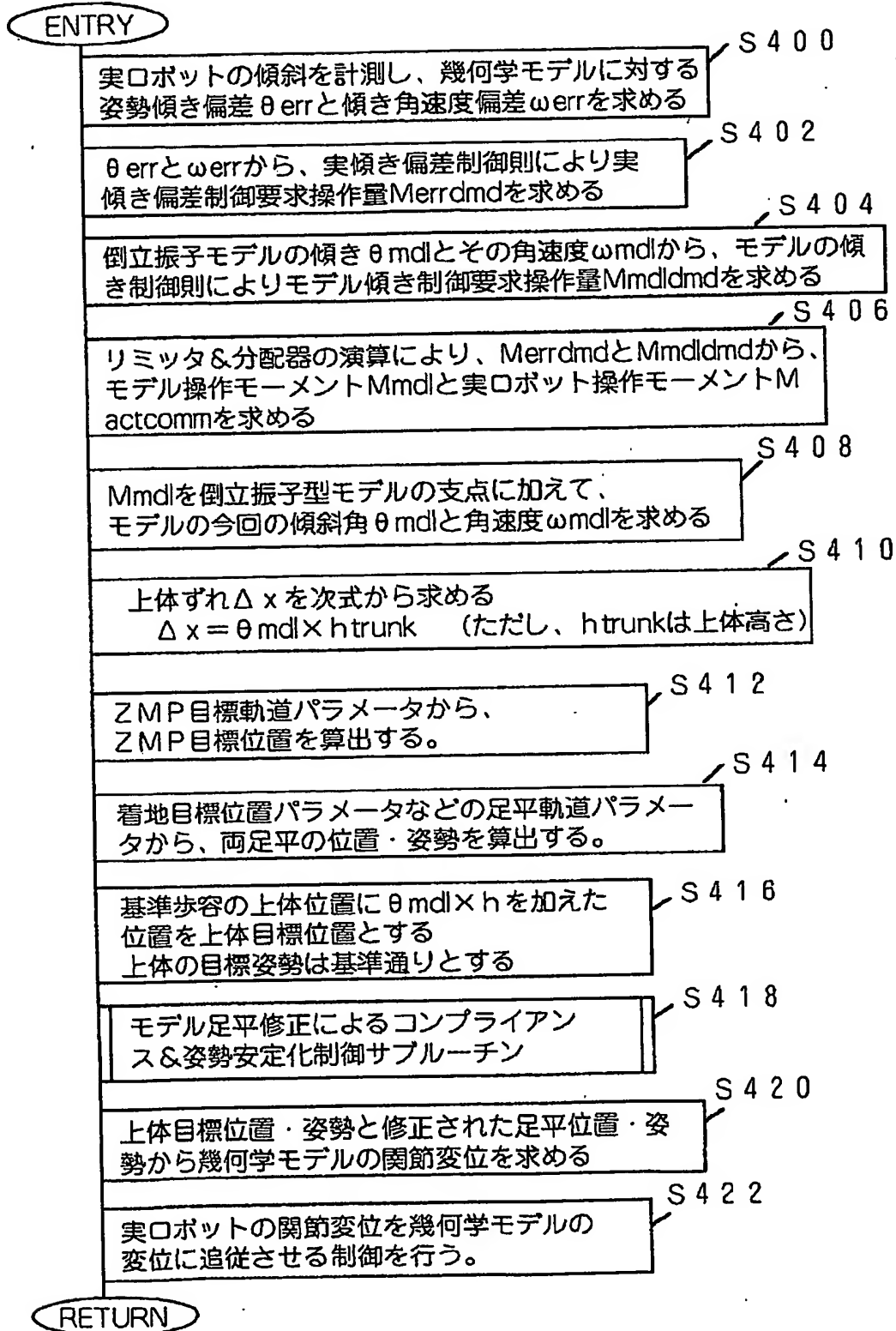
【図14】



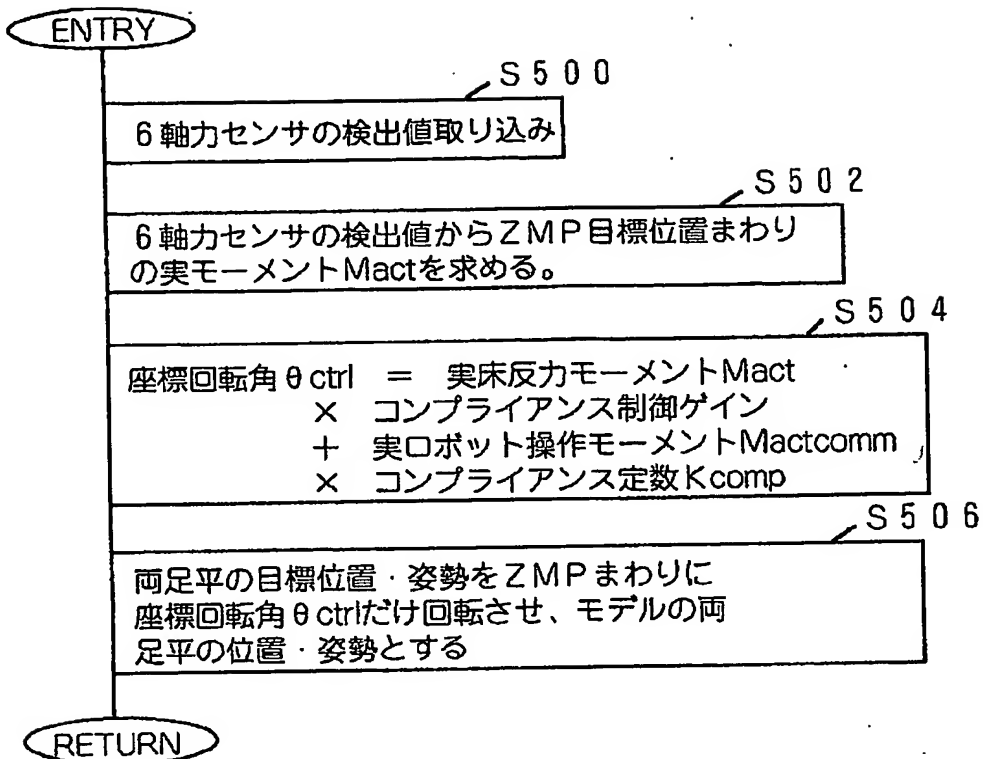
【図15】



【図 16】



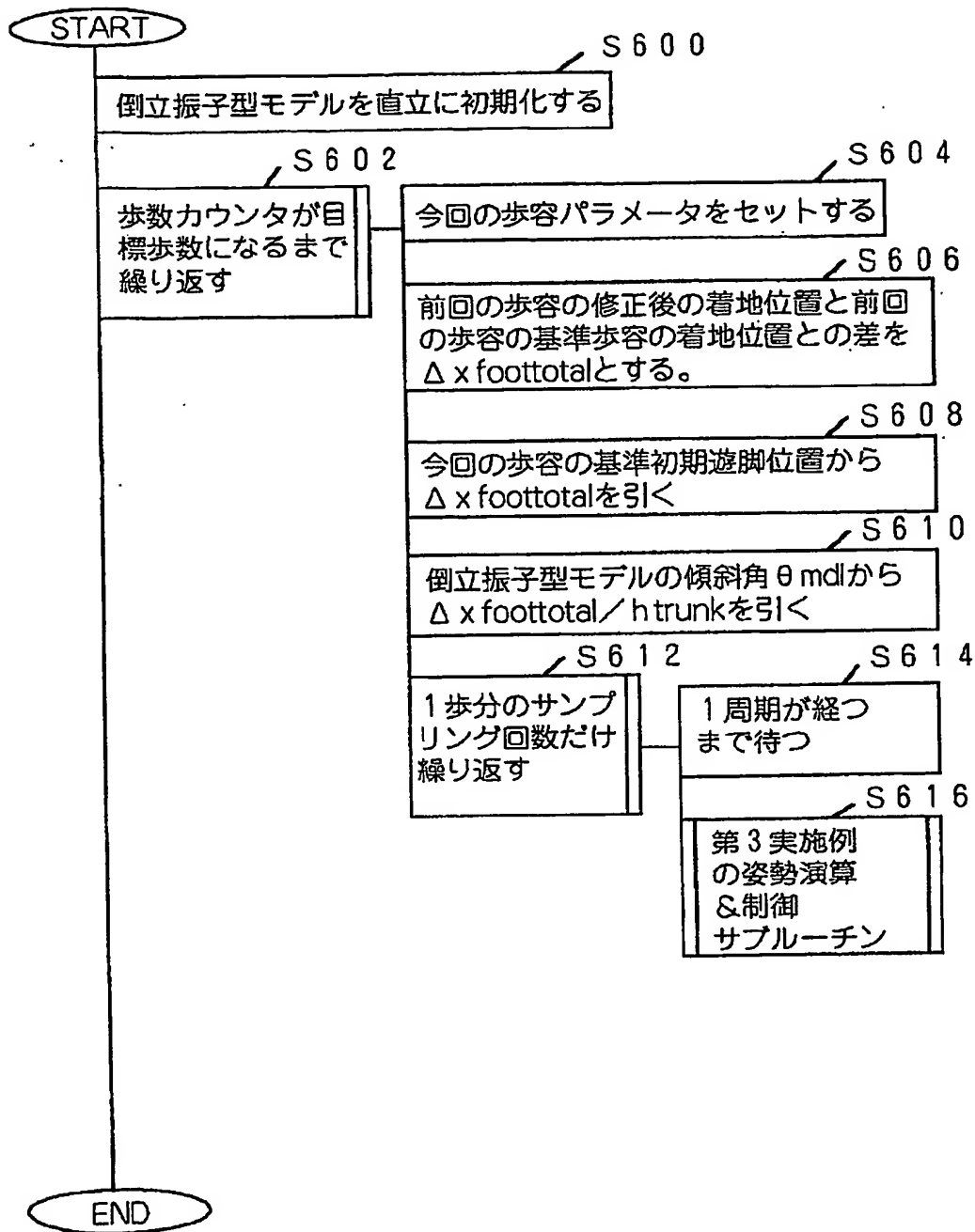
【図 1 7】



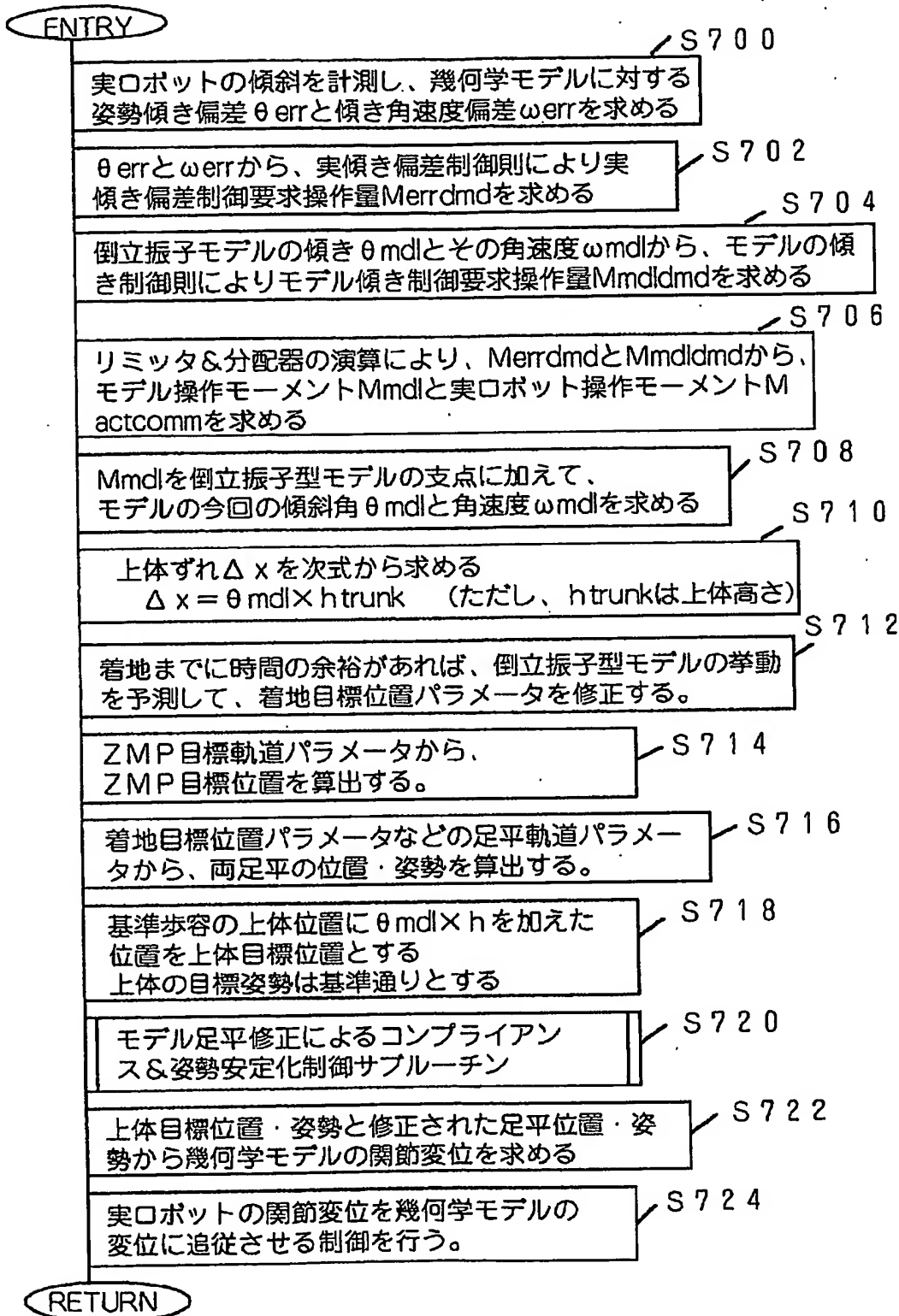
大局的姿勢



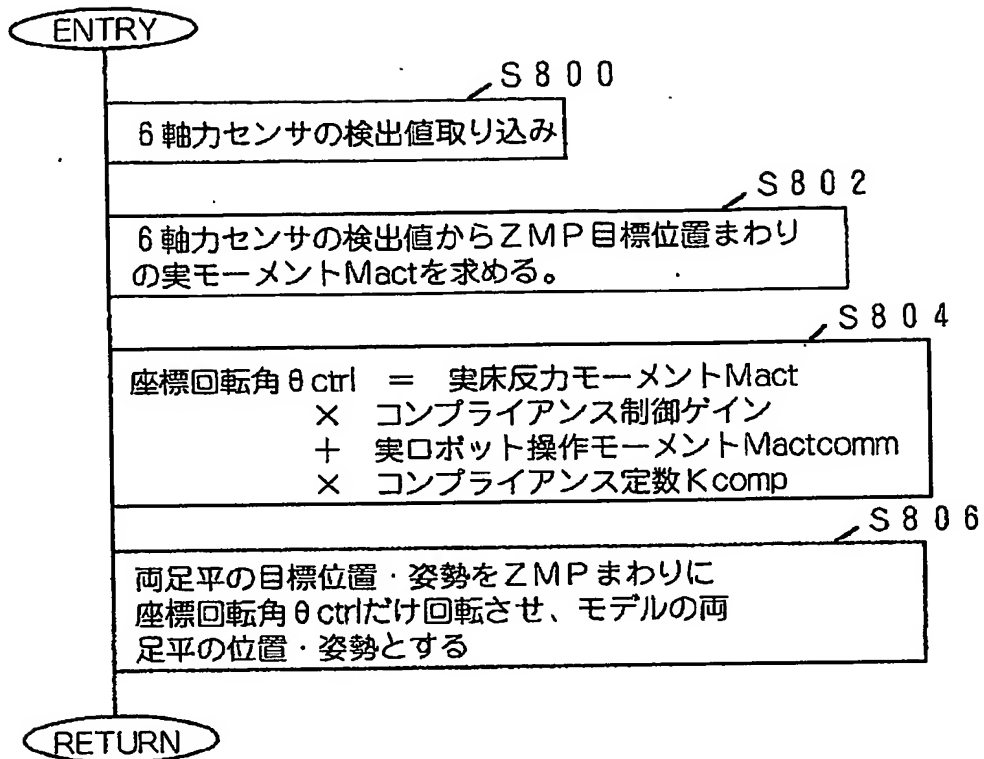
【図19】



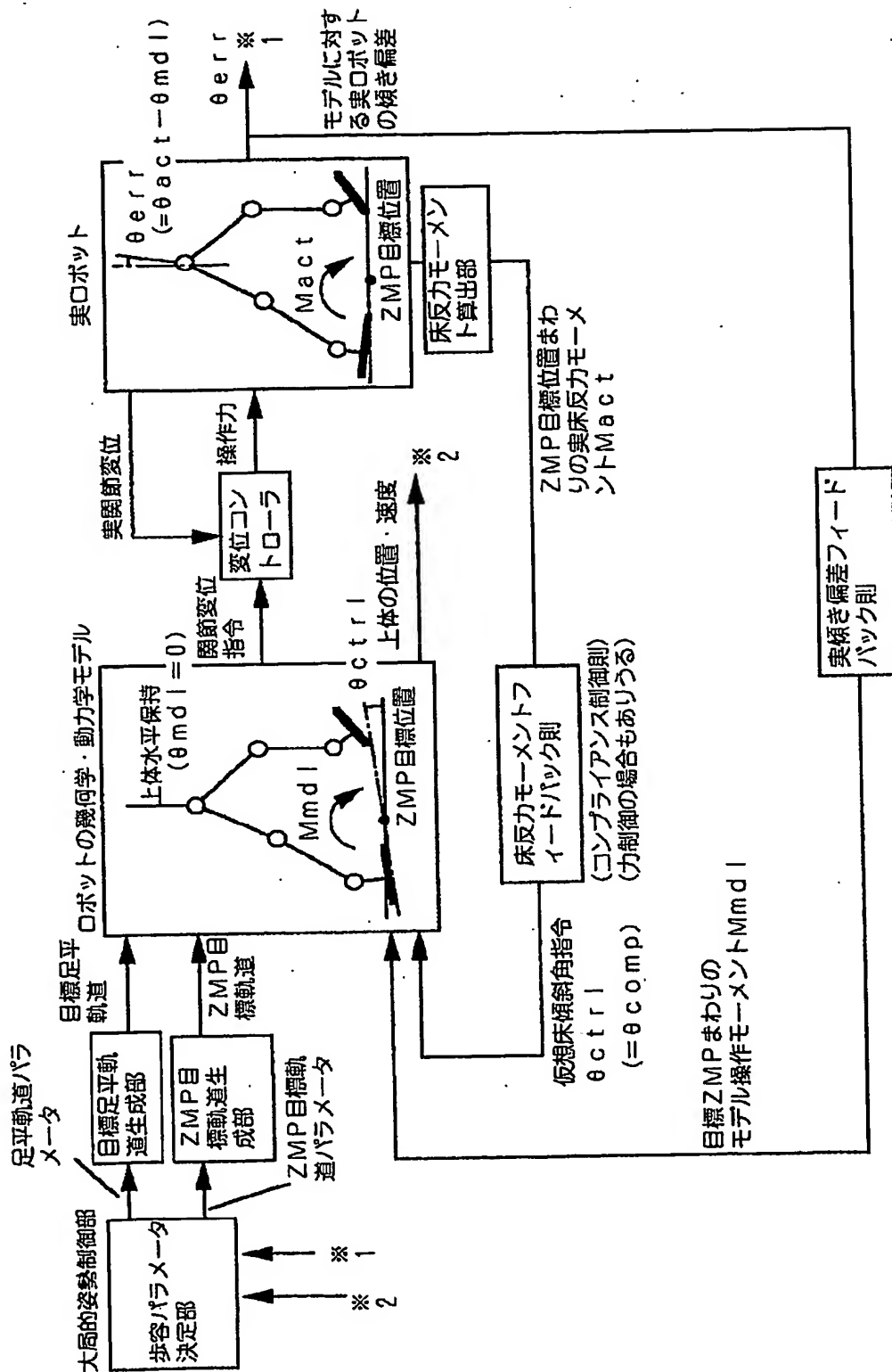
【図 20】



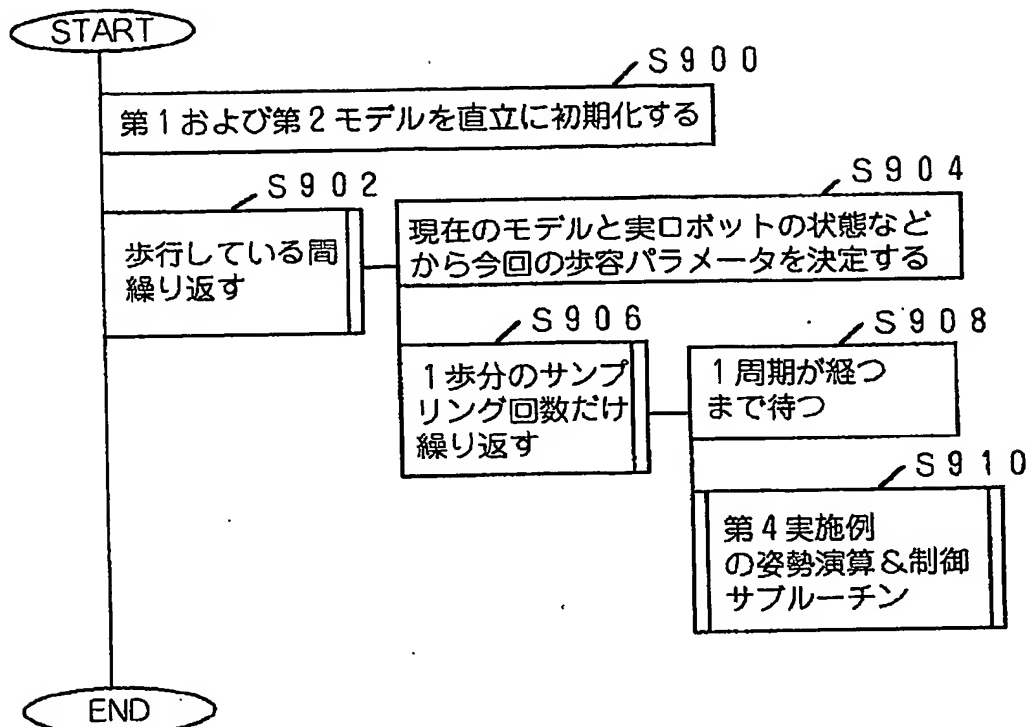
【図 2 1】



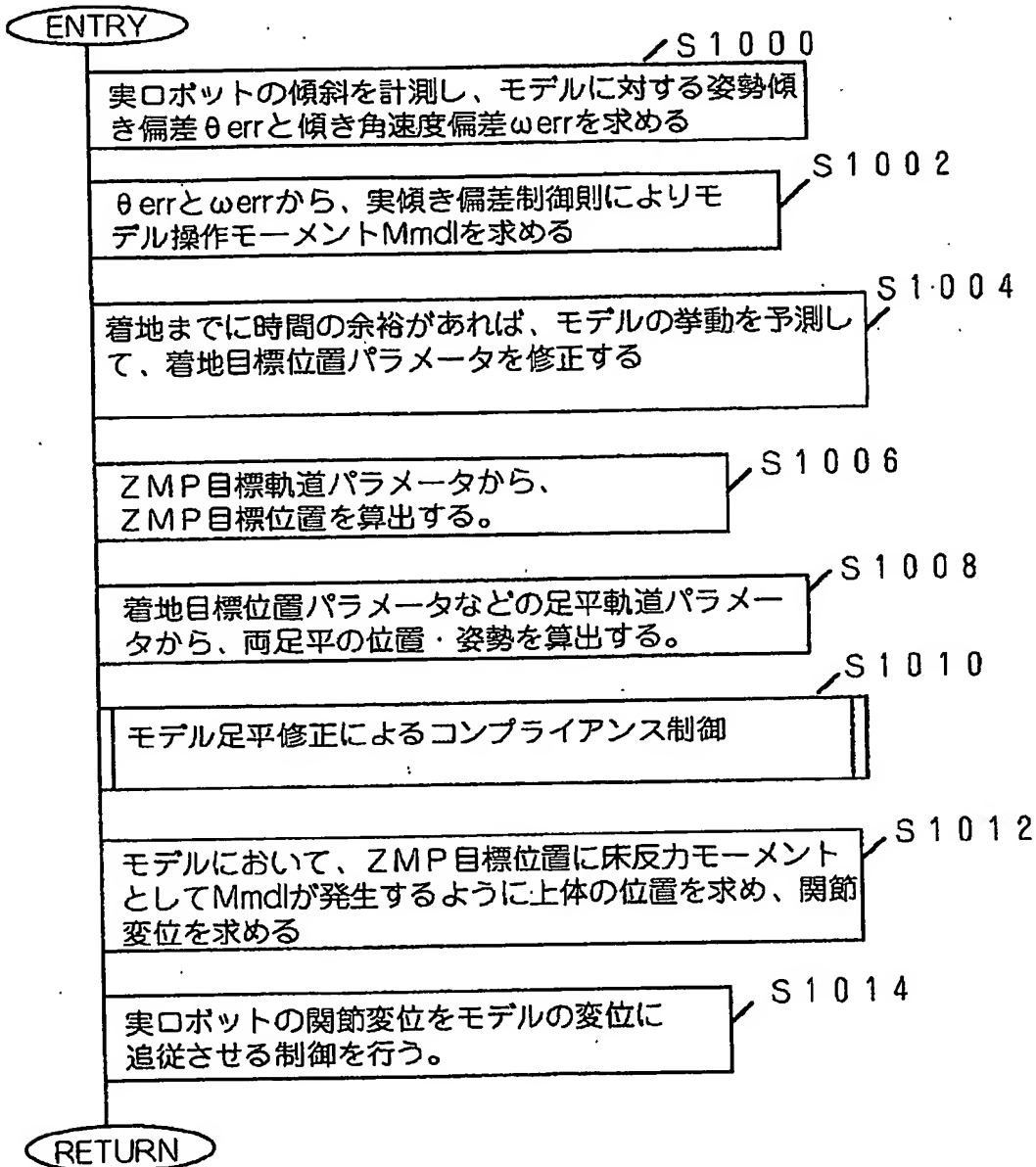
【図22】



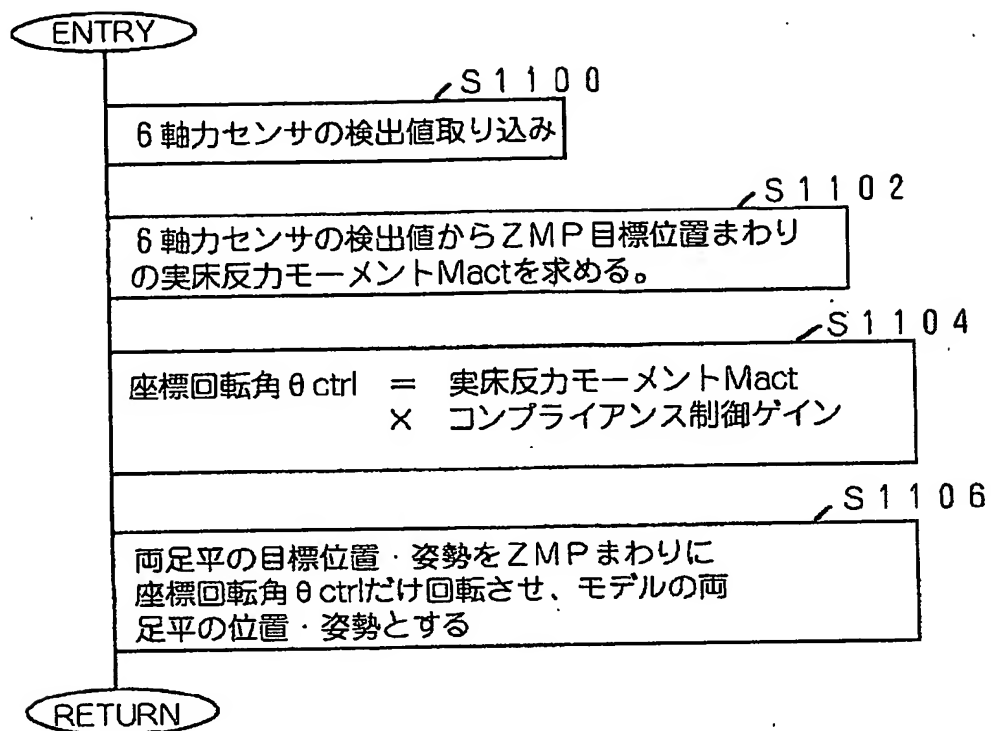
【図 23】



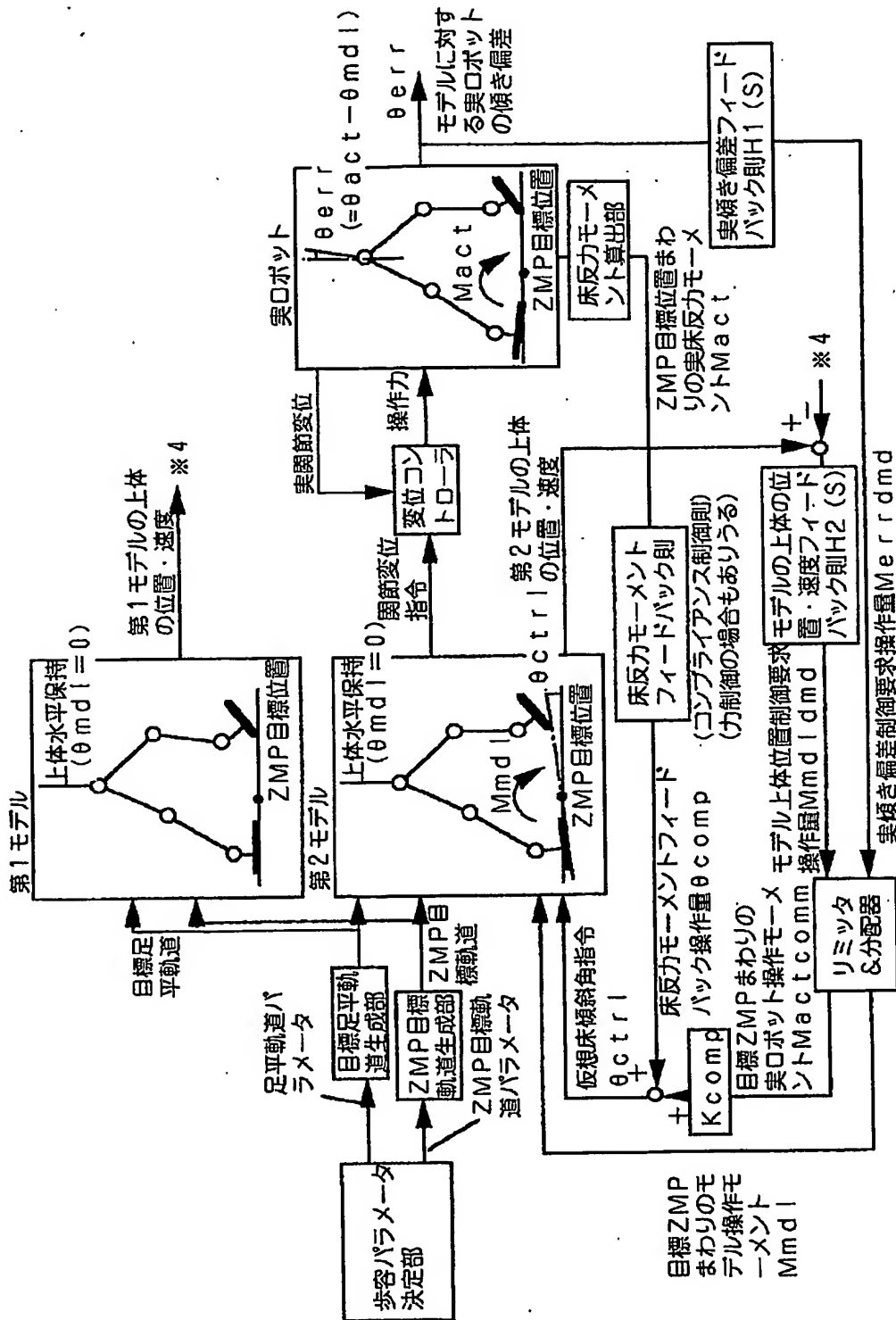
【図 24】



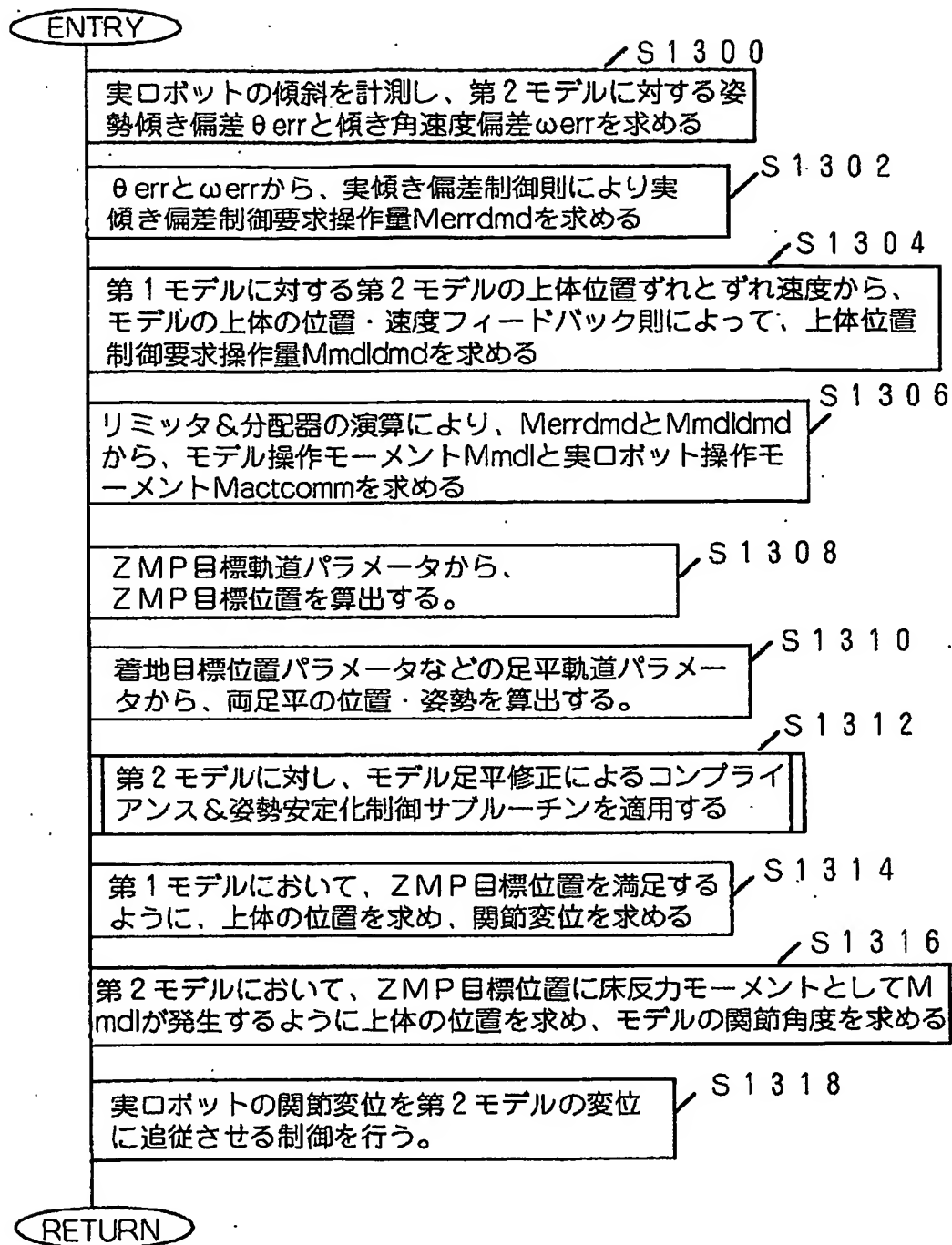
【図 25】



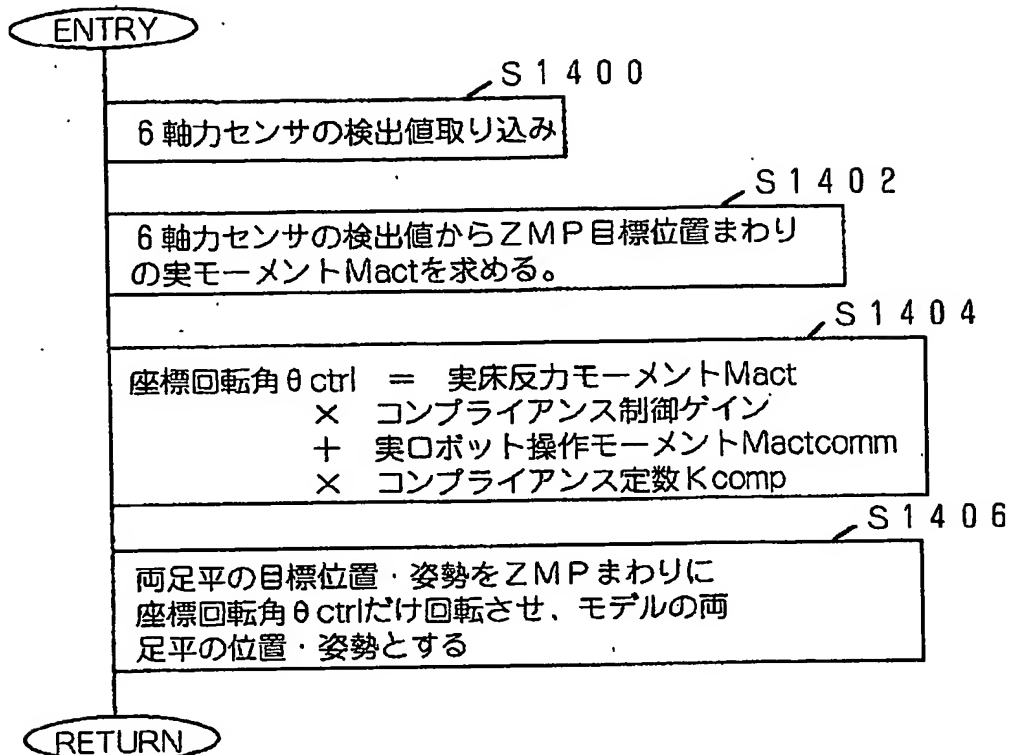
【図 26】



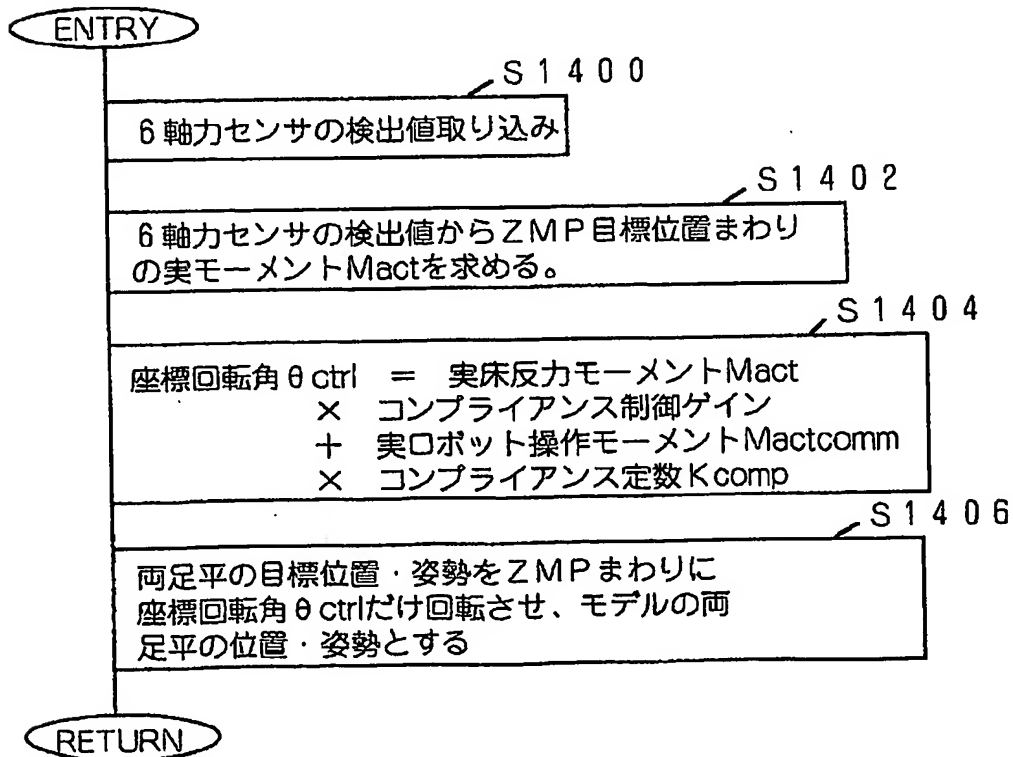
【図 27】



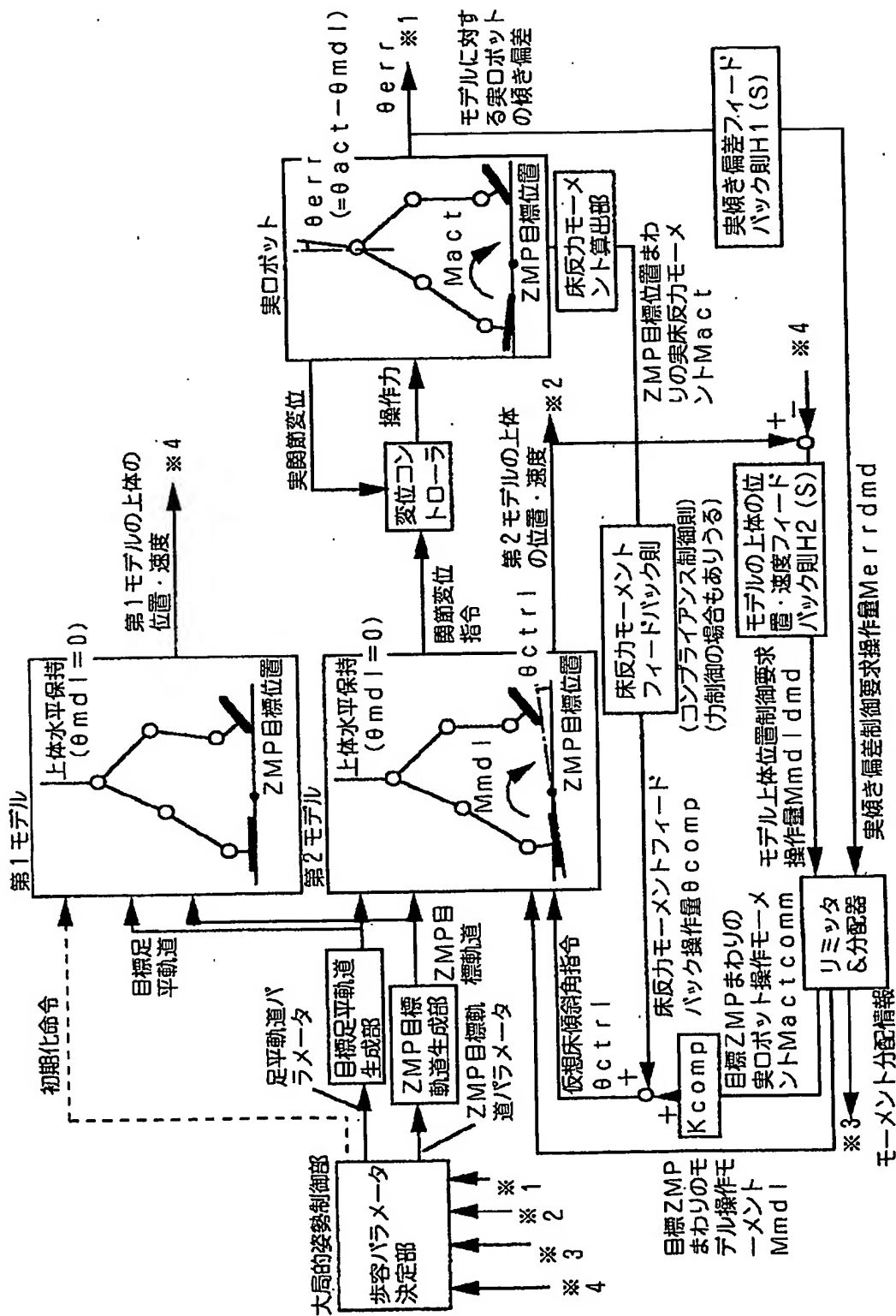
【図 28】



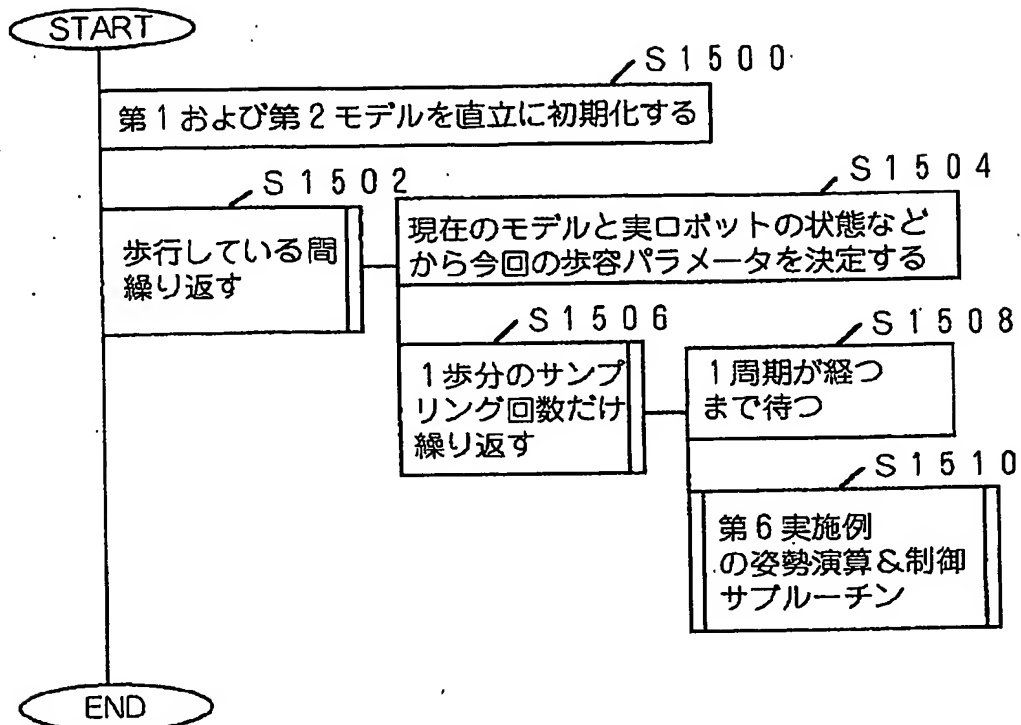
【図 29】



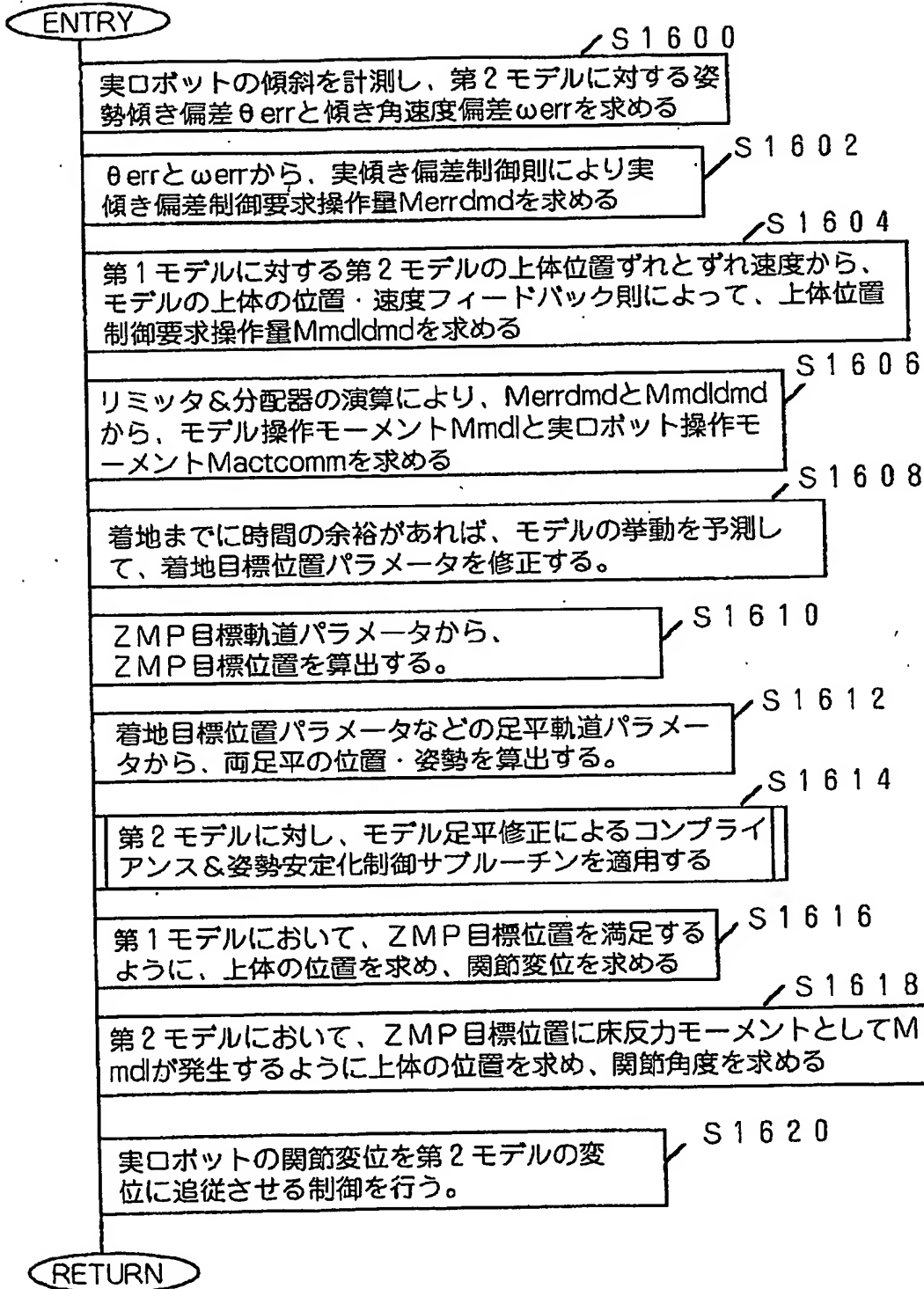
【図 30】



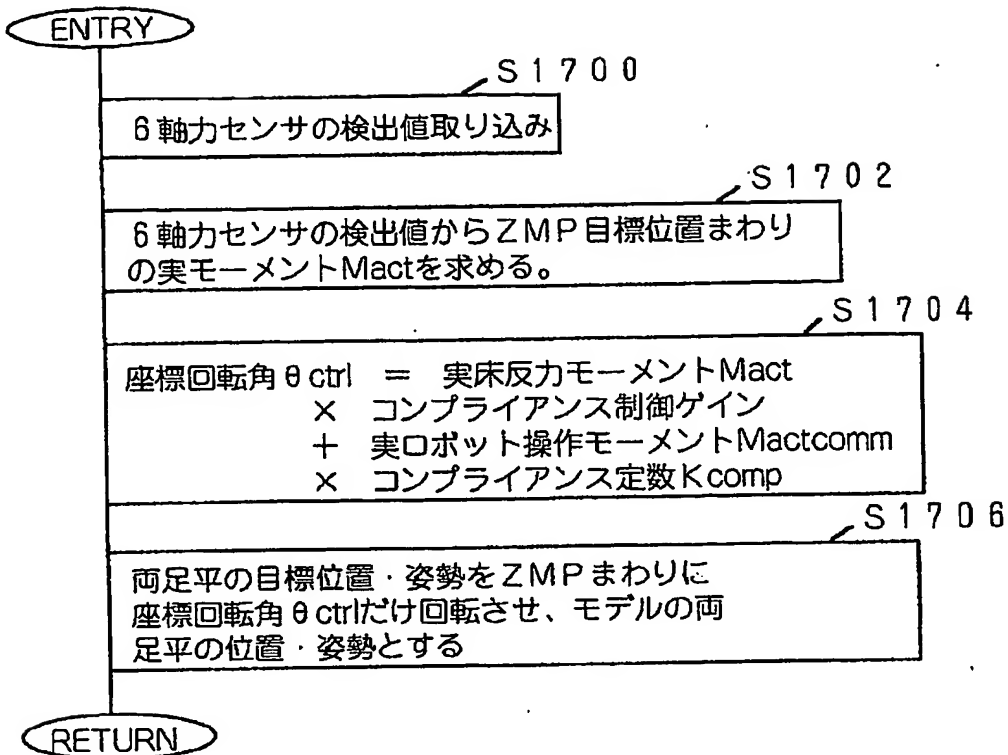
【図 31】



【図 3 2】



【図 33】



【図 34】

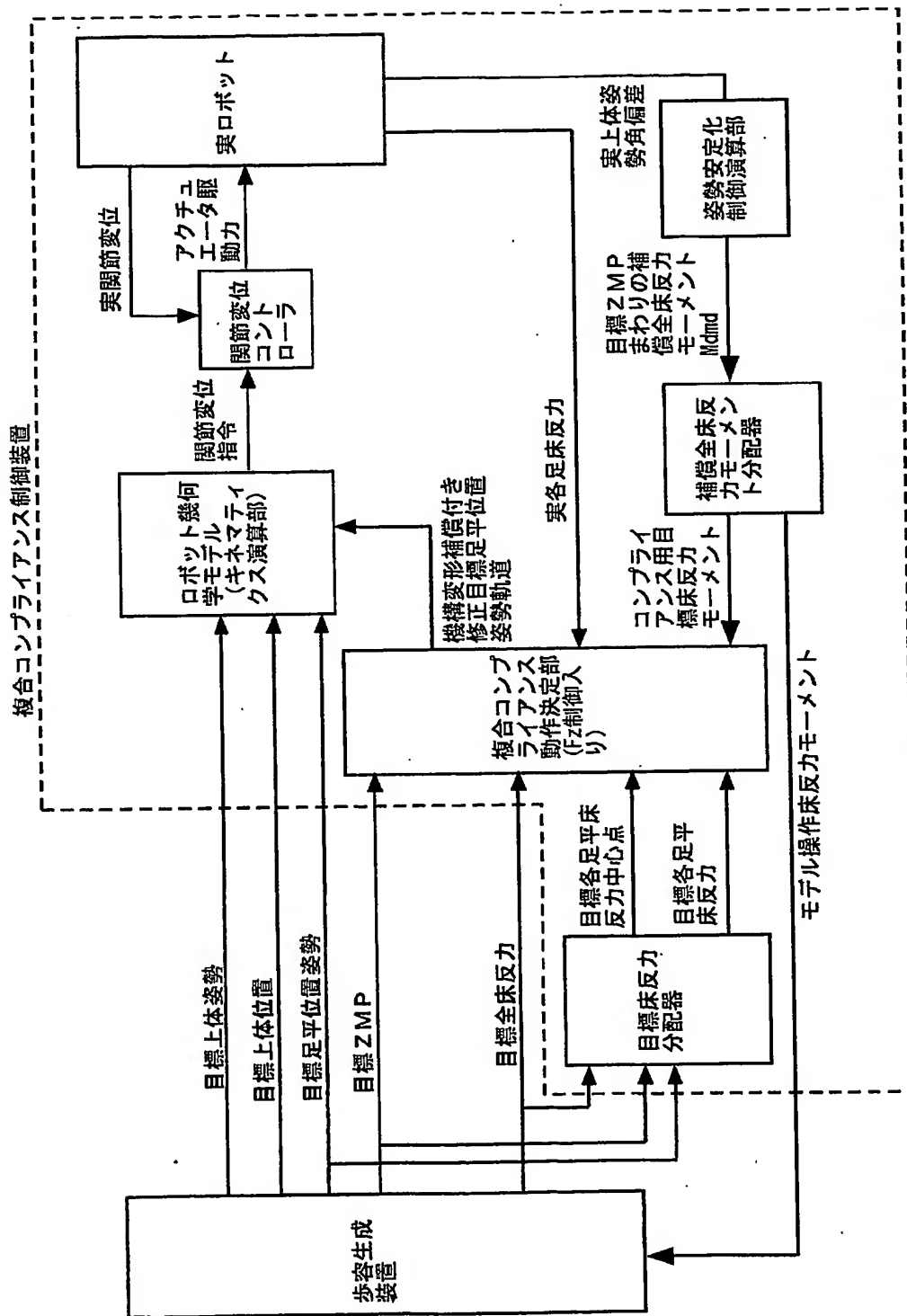


図34 第1実施例の全体機能ブロック図

【図 35】

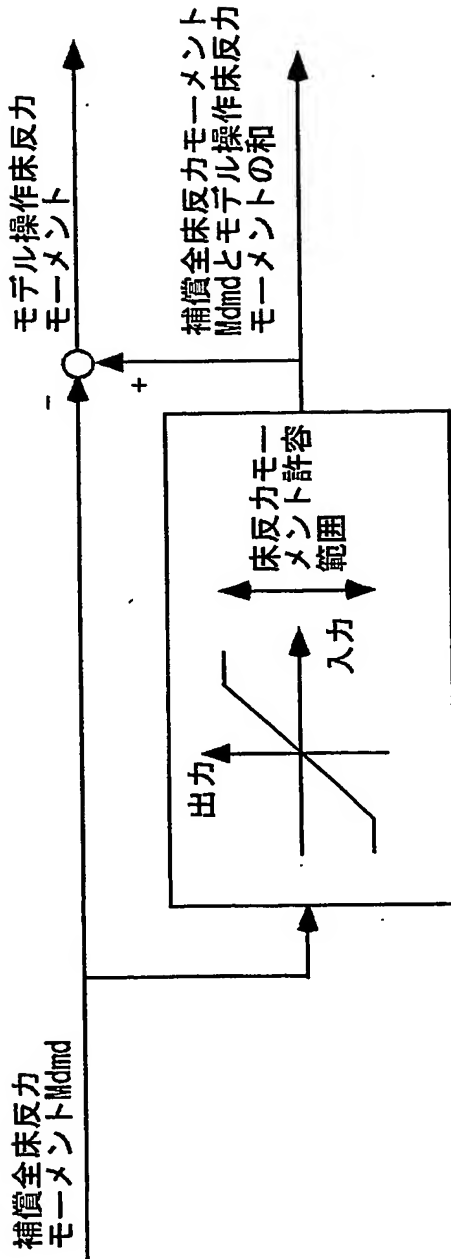


図35. モデル操作床反力モーメント決定器

【図 36】

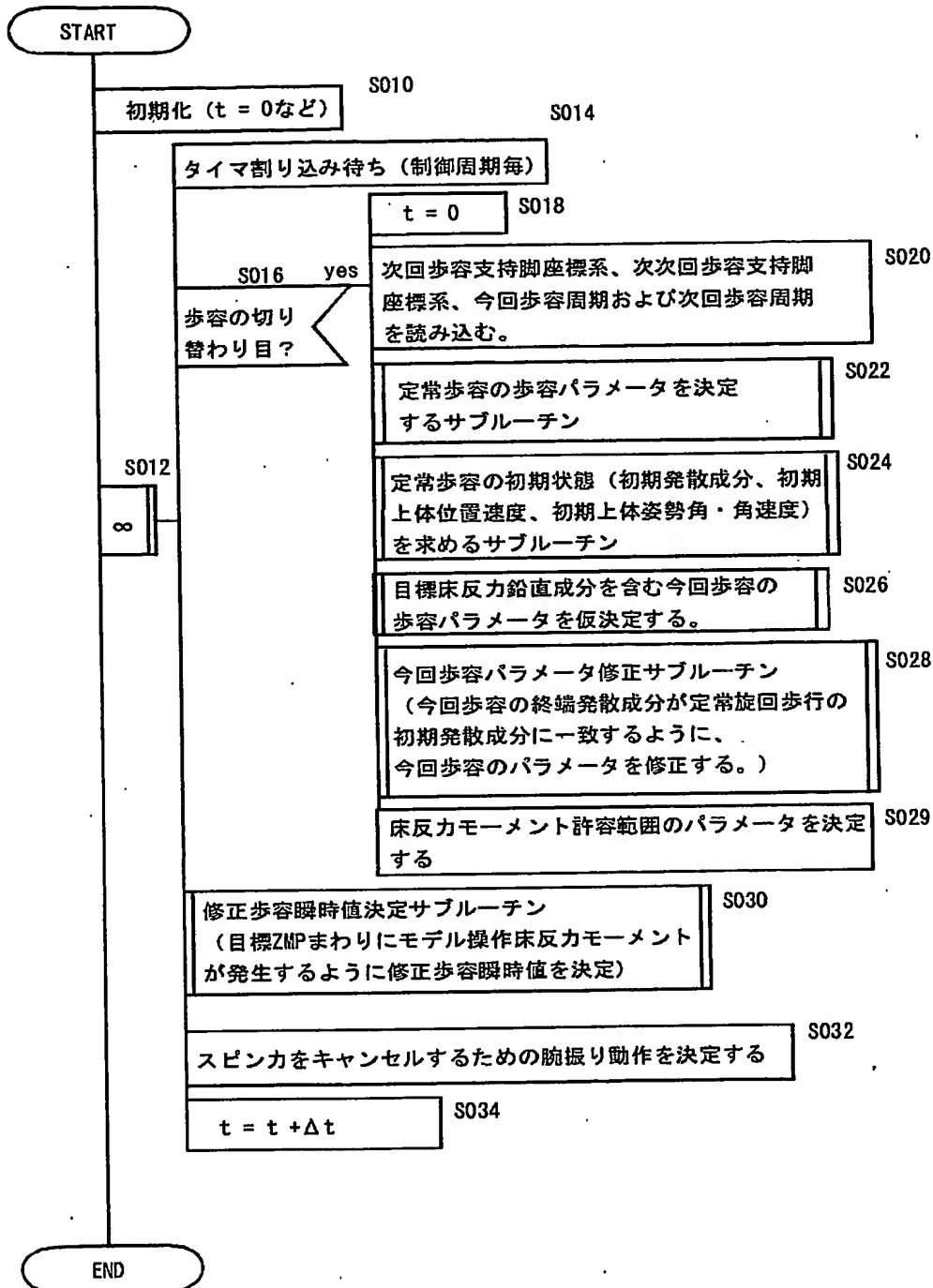
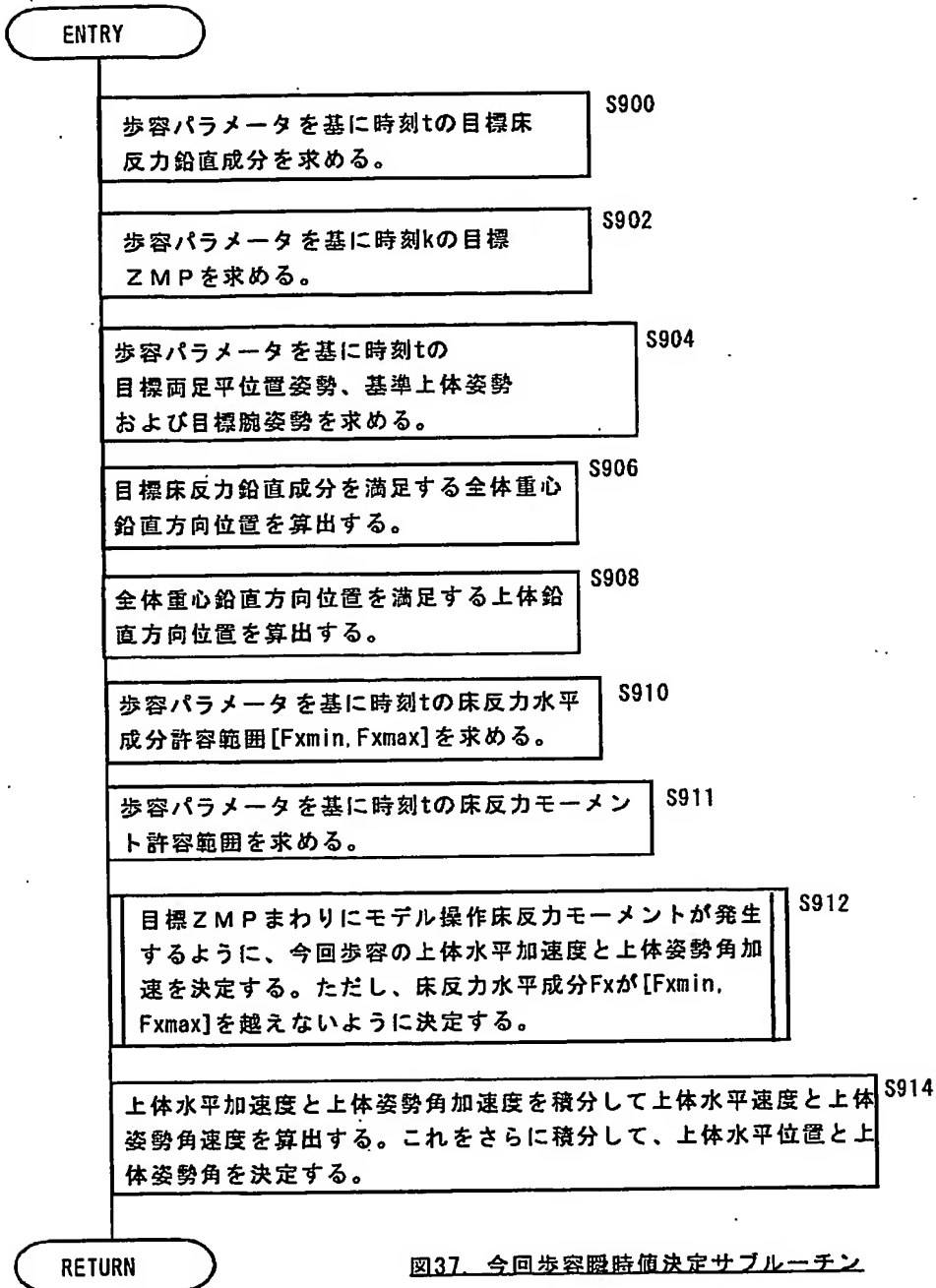


図36. 第1実施例歩容生成部の処理のフローチャート

【図 37】



【図 38】

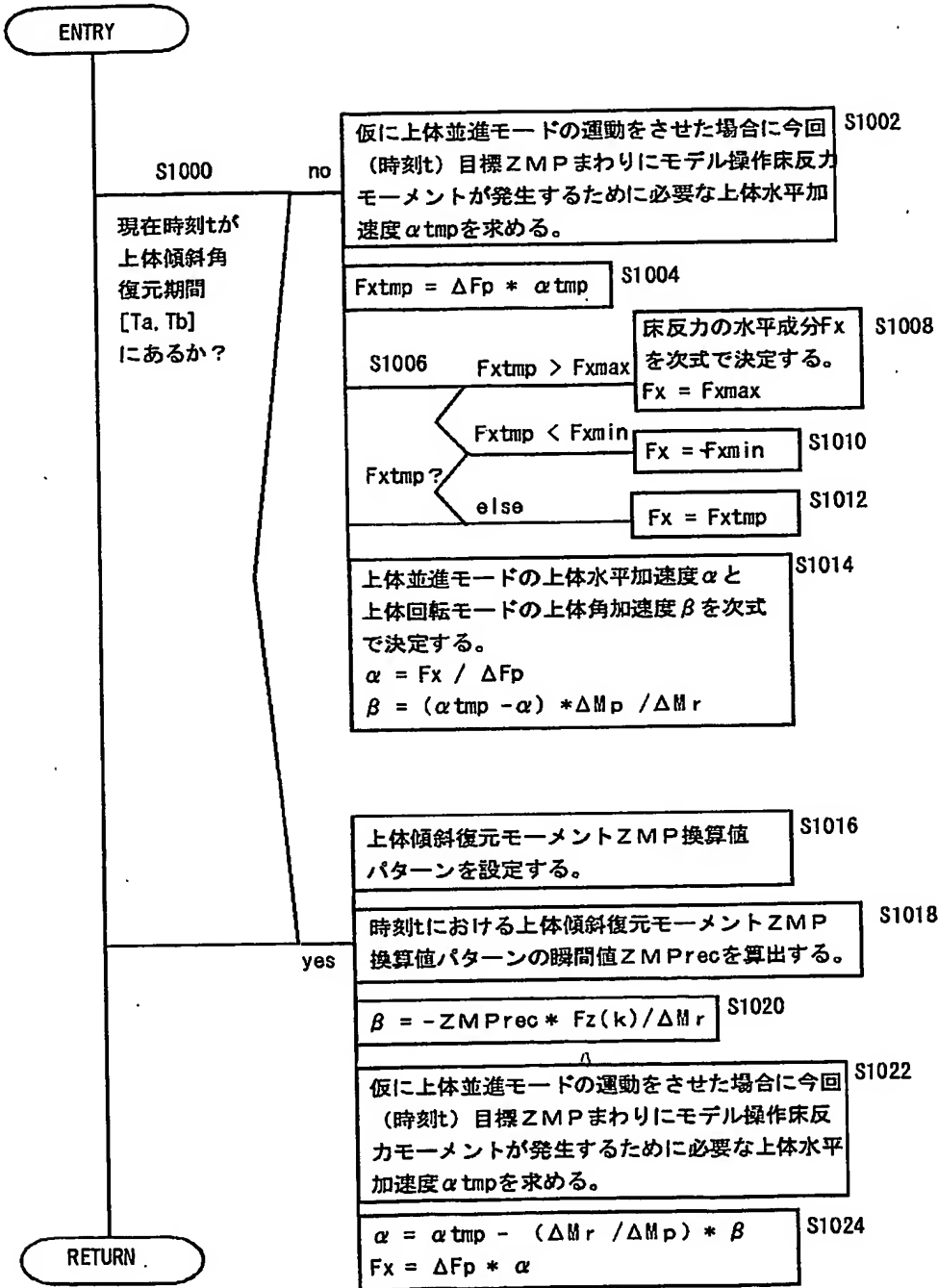


図38. 今回歩容の上体水平加速度と上体姿勢角加速度を決定するサブルーチン

【図40】

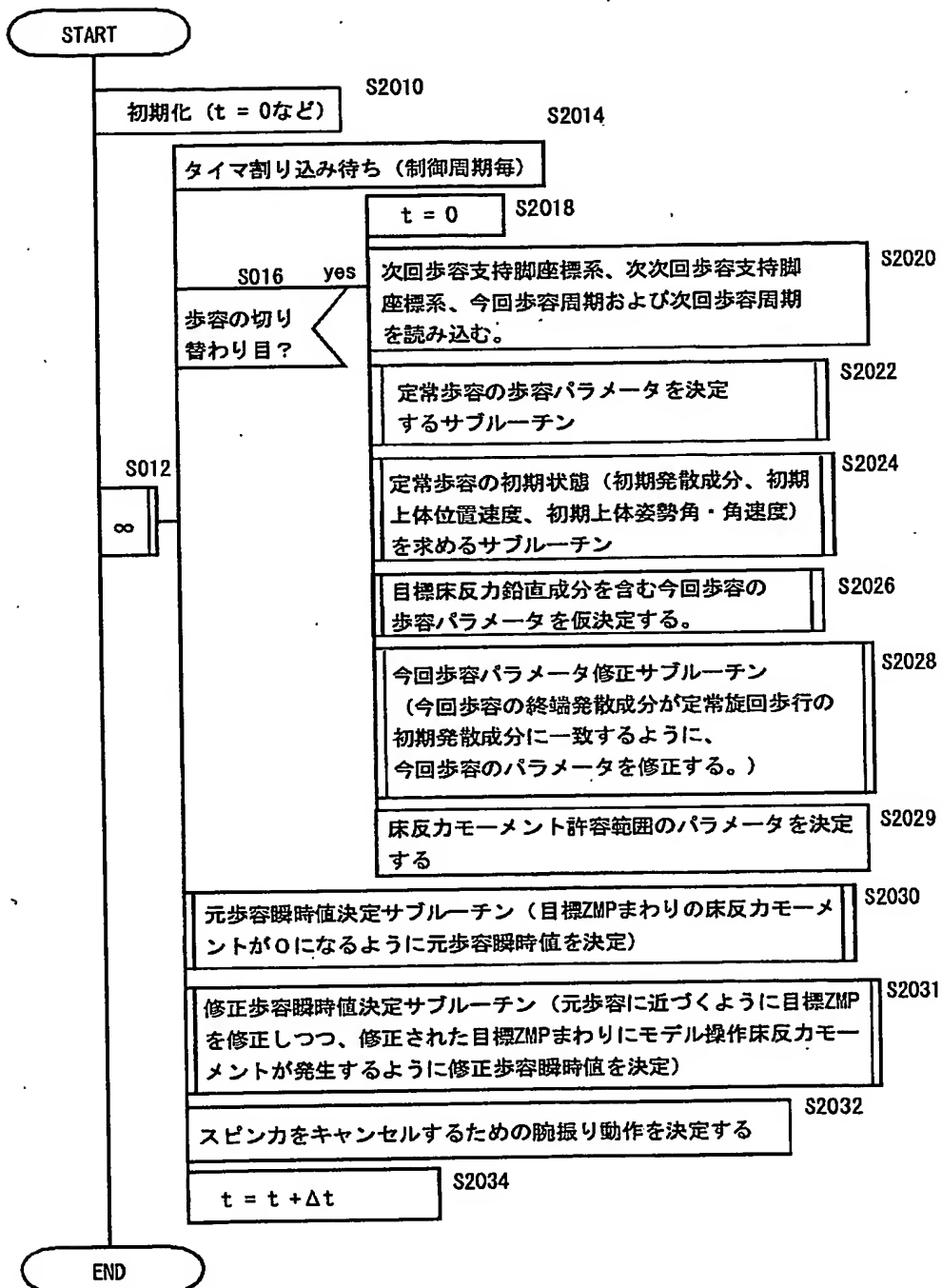


図40. 第2実施例歩容生成部の処理のフローチャート

【図 4 1】

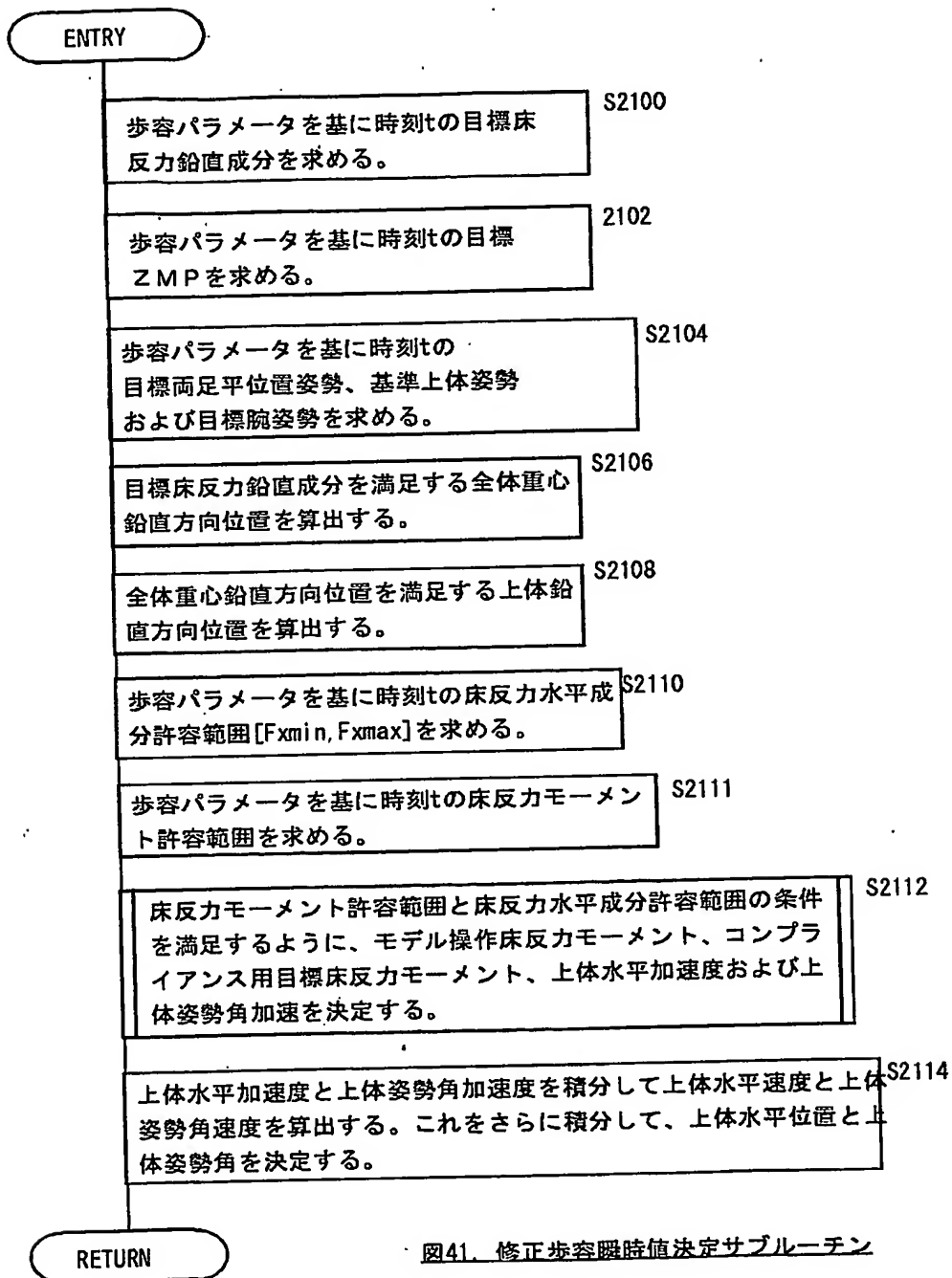


図41. 修正歩容瞬時値決定サブルーチン

【図 4 2】

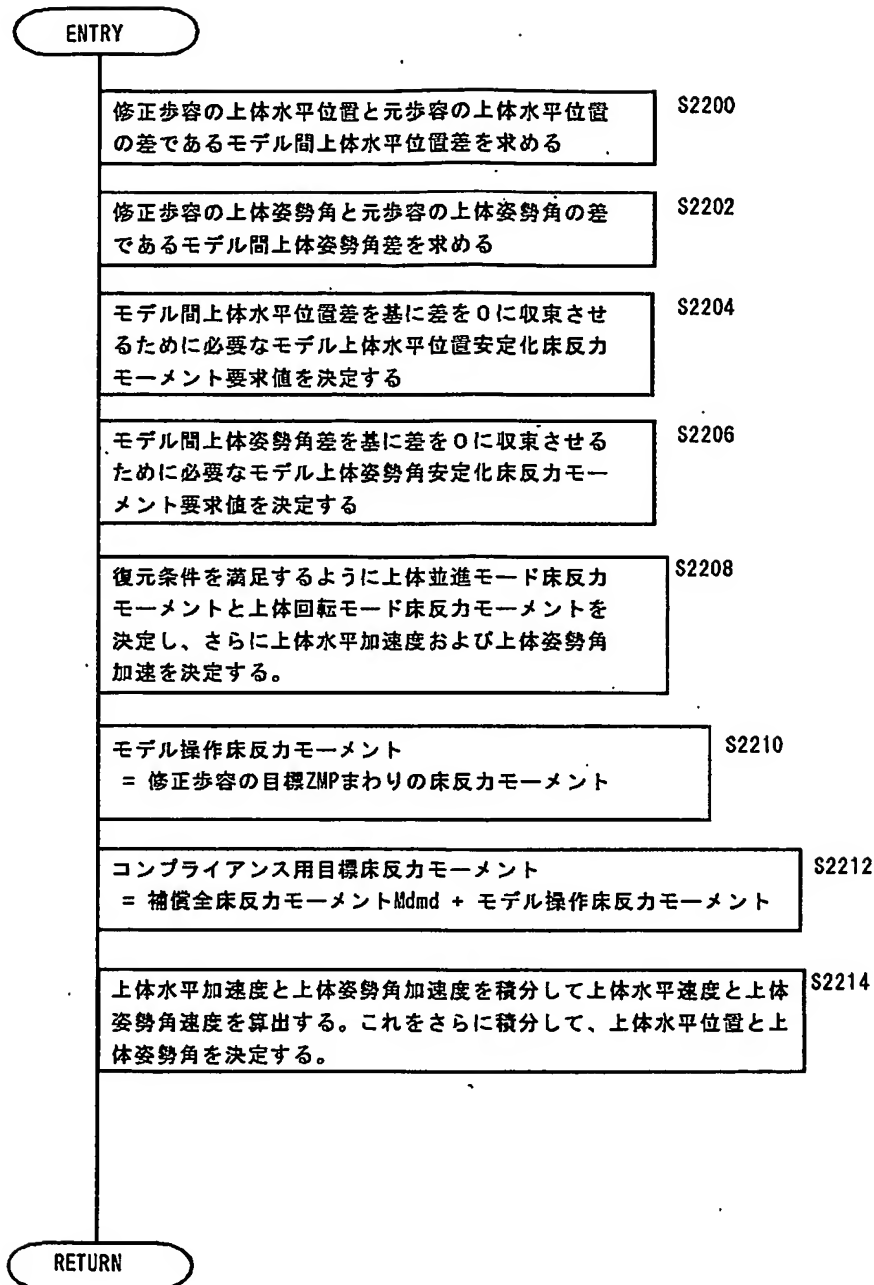


図42 第2実施例における上体水平加速度と上体姿勢角加速度を決定するサブルーチン

【図43】

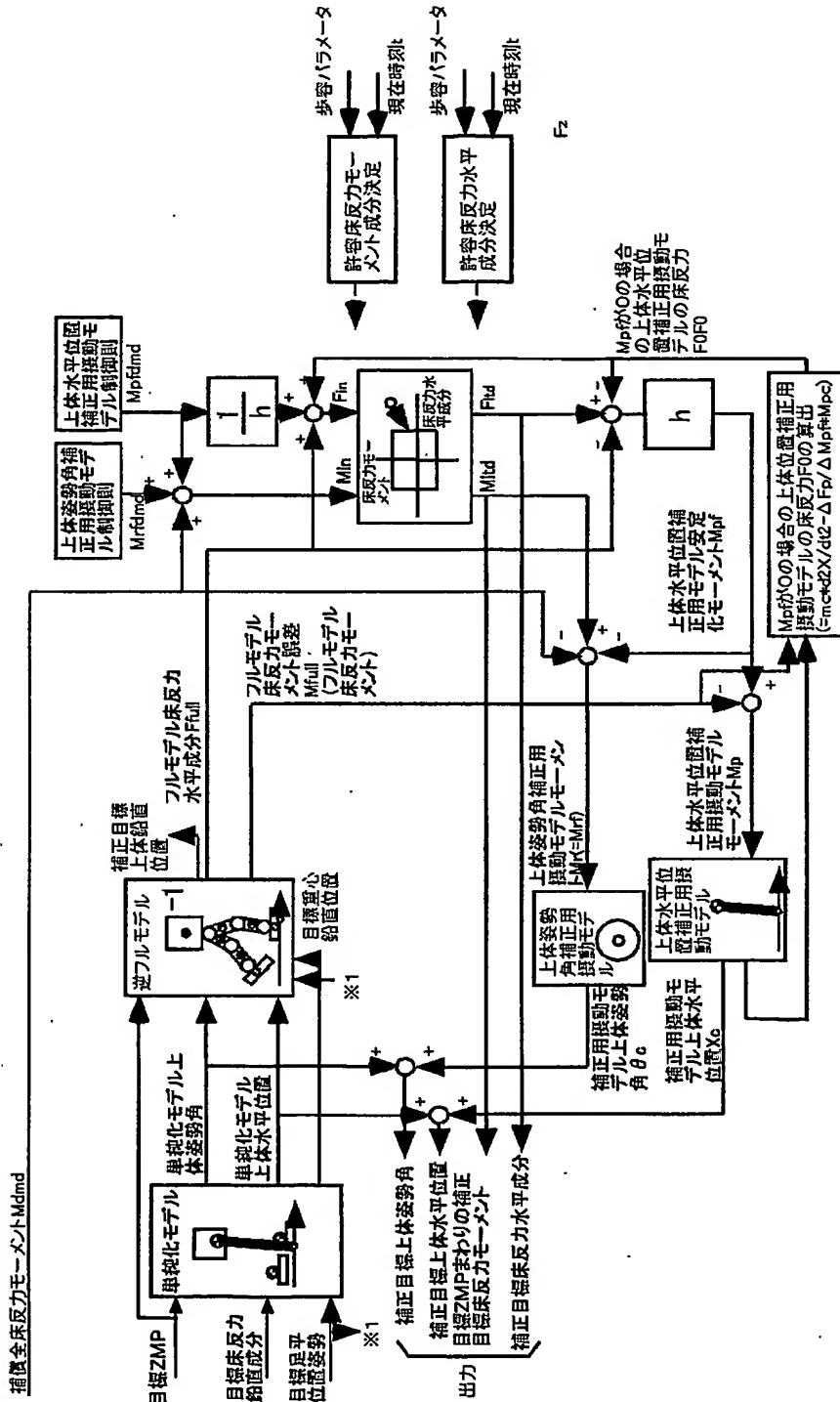


図43 逆動力学フルモデルを使う補正、単体化モデル歩容を補正しない方式、フルモデルFF補正型。

【図 44】

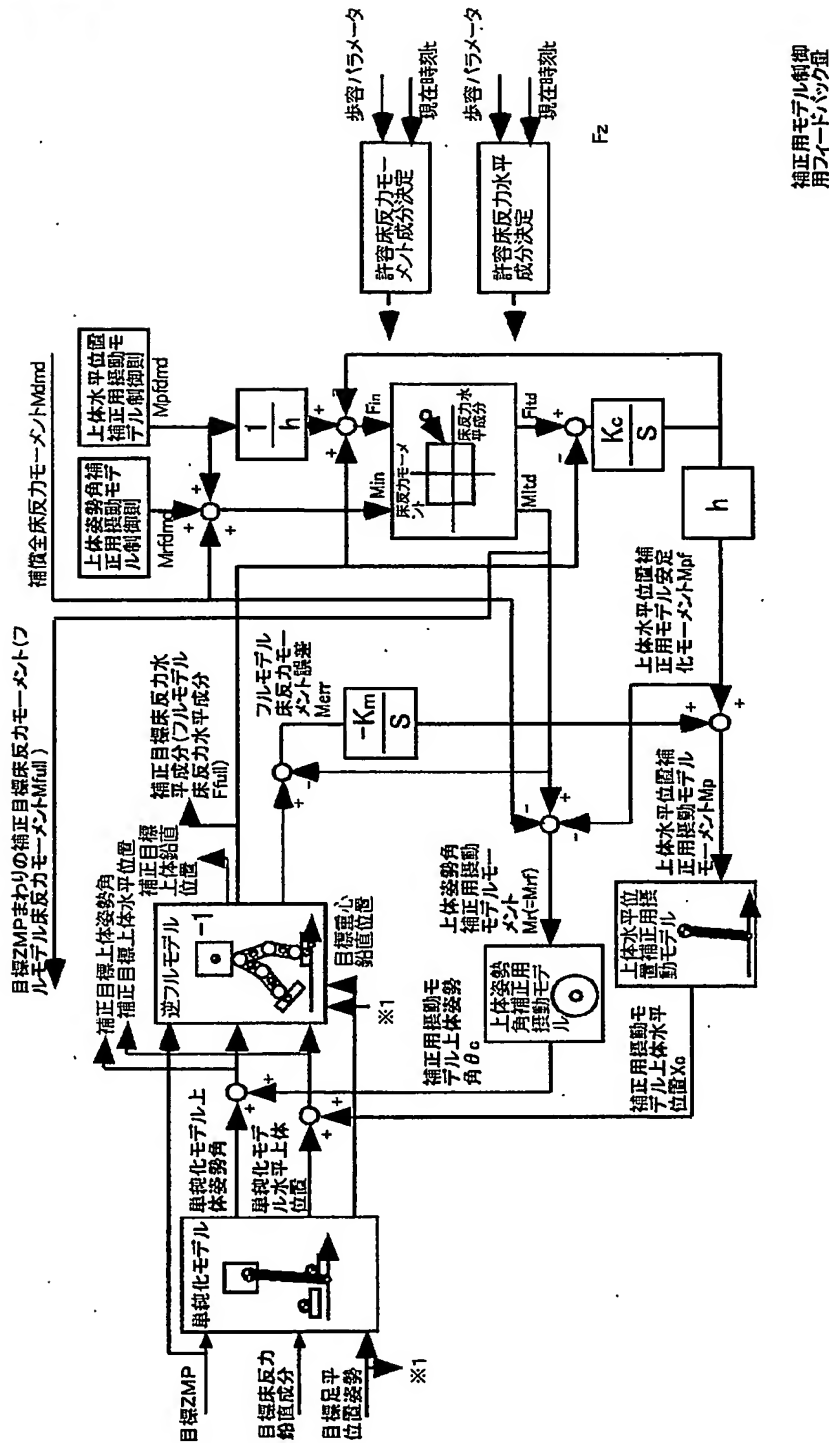


図44. 逆動力学フルモデルを使う補正、単体化モデル歩容を補正しない方式、フルモデルFB補正型。

【図 4 5】

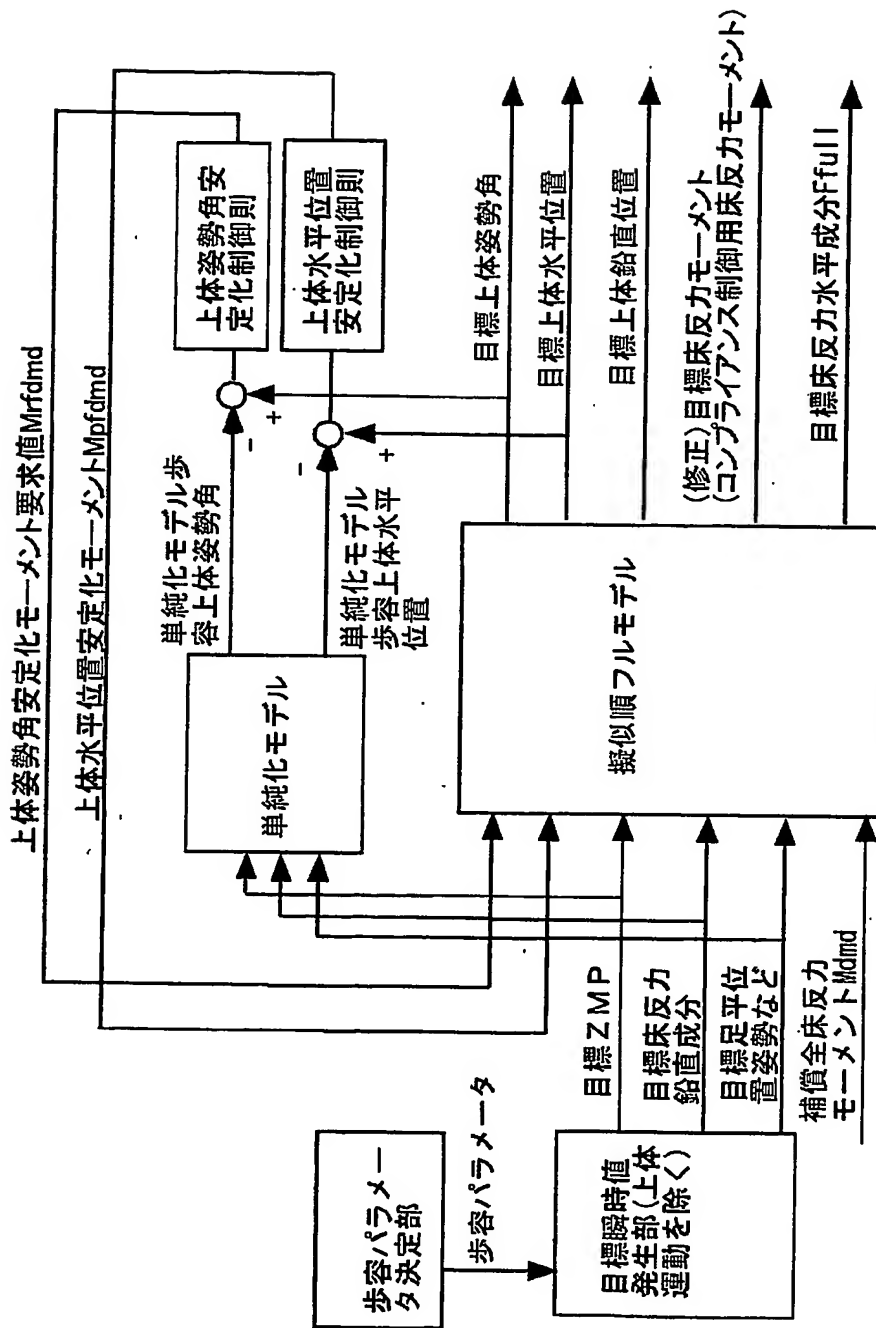
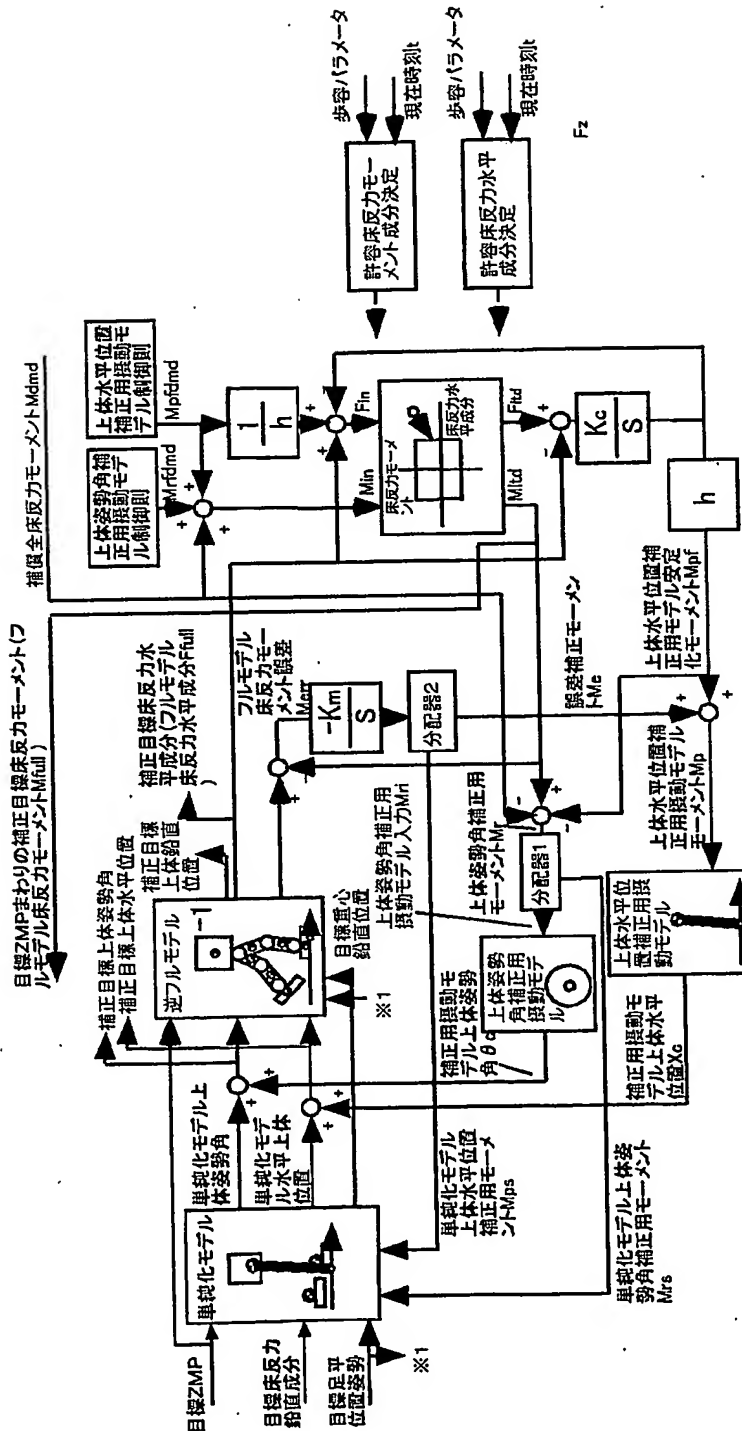


図45. 順フルモデルを用いた歩容補正

補償全床反力モーメントMdmd



【図47】



2つの分配器は共に、出力の和が入力に等しいことが望ましい

図47 逆動力学フルモデルを使う補正、単体化モデル歩容を補正する方式、フルモデルFB補正型。

修正用モデル制御用フィードバック量

【図48】

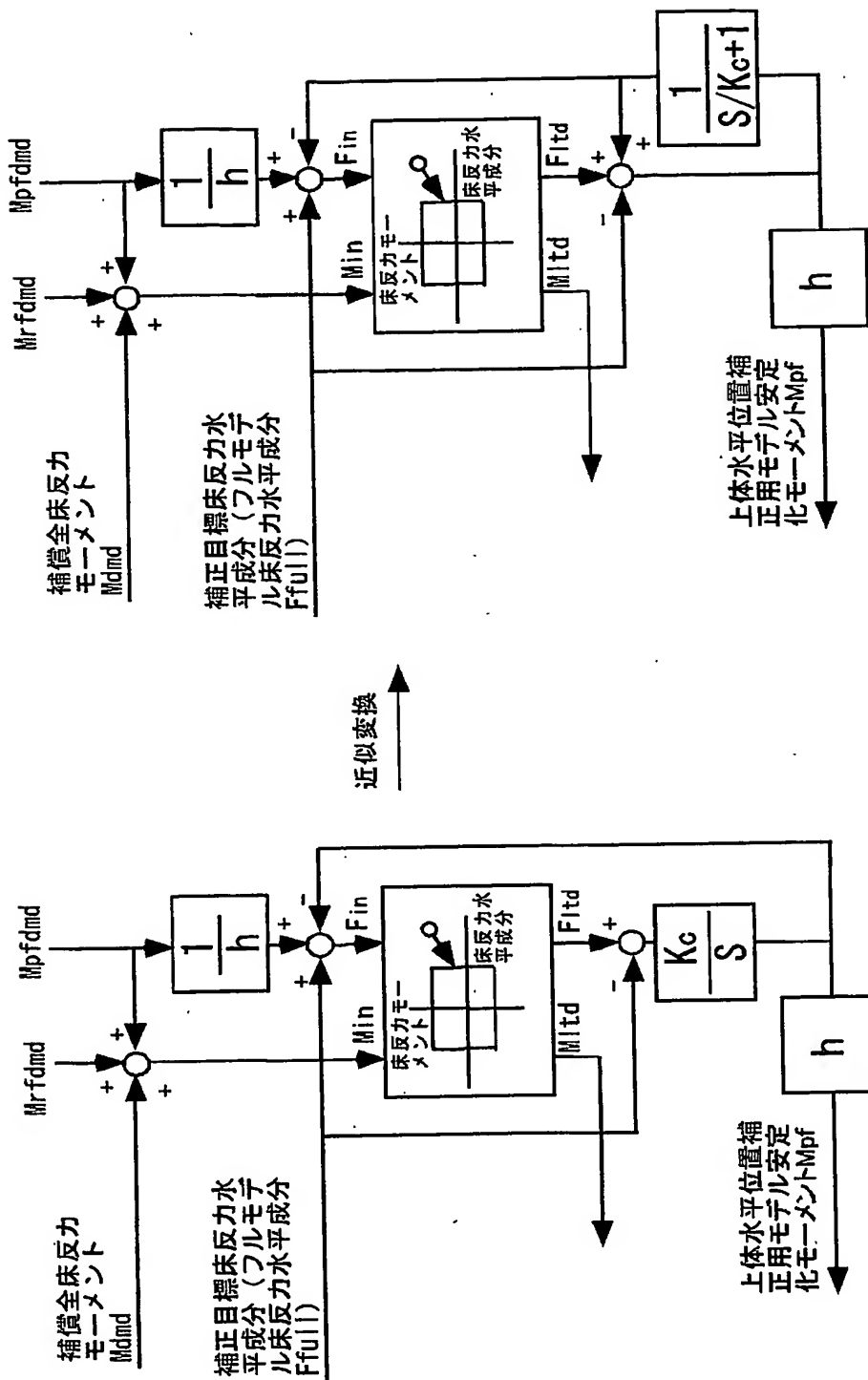


図48. 制限手段の近似変換

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ロボットの上体の傾き角度と傾き角速度を検出して姿勢制御する。

【解決手段】 力、力のモーメントおよび力の作用点の少なくともいずれかからなる目標操作量および目標外力の少なくともいずれかからなる目標値を入力し、前記目標値を満足するように制御対象である脚式移動ロボットの目標挙動を出力する動力学モデルを少なくとも備えるモデル追従型の脚式移動ロボットの姿勢安定化制御装置であって、少なくとも前記動力学モデルと前記ロボットの姿勢の状態量の偏差に応じた前記目標値の修正量を少なくとも前記動力学モデルに付加的に入力しつつ、目標挙動に釣り合う外力が目標外力の所定の許容範囲を越えないように、あるいは、重心加速度が所定の許容範囲を越えないように、前記動力学モデルの動的挙動を決定する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000005326]

1. 変更年月日

1990年 9月 6日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都港区南青山二丁目1番1号

氏 名

本田技研工業株式会社

P C T

国際予備審査報告

(法第12条、法施行規則第56条)
〔PCT36条及びPCT規則70〕

REC'D 25 JUL 2003

WIPO

PCT

出願人又は代理人 の書類記号 PCT02409	今後の手続きについては、国際予備審査報告の送付通知（様式PCT/ IPEA/416）を参照すること。		
国際出願番号 PCT/JPO3/00435	国際出願日 (日.月.年) 20.01.03	優先日 (日.月.年) 18.01.02	
国際特許分類 (IPC) Int Cl ⁷ B25J5/00			
出願人 (氏名又は名称) 本田技研工業株式会社			


1. 国際予備審査機関が作成したこの国際予備審査報告を法施行規則第57条 (PCT36条) の規定に従い送付する。

2. この国際予備審査報告は、この表紙を含めて全部で 3 ページからなる。

☐ この国際予備審査報告には、附属書類、つまり補正されて、この報告の基礎とされた及び/又はこの国際予備審査機関に対してした訂正を含む明細書、請求の範囲及び/又は図面も添付されている。
(PCT規則70.16及びPCT実施細則第607号参照)
この附属書類は、全部で ページである。

3. この国際予備審査報告は、次の内容を含む。

I ☒ 国際予備審査報告の基礎II ☐ 優先権III ☐ 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての国際予備審査報告の不作成IV ☐ 発明の単一性の欠如V ☒ PCT35条(2)に規定する新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての見解、それを裏付けるための文献及び説明VI ☐ ある種の引用文献VII ☐ 国際出願の不備VIII ☐ 国際出願に対する意見

国際予備審査の請求書を受理した日 17.06.03	国際予備審査報告を作成した日 09.07.03		
名称及びあて先 日本国特許庁 (IPEA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 八木 誠	3 C	9348
電話番号 03-3581-1101 内線 3324			

I. 国際予備審査報告の基礎

1. この国際予備審査報告は下記の出願書類に基づいて作成された。(法第6条(PCT14条)の規定に基づく命令に
応答するために提出された差し替え用紙は、この報告書において「出願時」とし、本報告書には添付しない。
PCT規則70.16, 70.17)

☒ 出願時の国際出願書類

- ☐ 明細書 第 _____ ページ、 出願時に提出されたもの
明細書 第 _____ ページ、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの
明細書 第 _____ ページ、 _____ 付の書簡と共に提出されたもの
- ☐ 請求の範囲 第 _____ 項、 出願時に提出されたもの
請求の範囲 第 _____ 項、 PCT19条の規定に基づき補正されたもの
請求の範囲 第 _____ 項、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの
請求の範囲 第 _____ 項、 _____ 付の書簡と共に提出されたもの
- ☐ 図面 第 _____ ページ/図、 出願時に提出されたもの
図面 第 _____ ページ/図、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの
図面 第 _____ ページ/図、 _____ 付の書簡と共に提出されたもの
- ☐ 明細書の配列表の部分 第 _____ ページ、 出願時に提出されたもの
明細書の配列表の部分 第 _____ ページ、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの
明細書の配列表の部分 第 _____ ページ、 _____ 付の書簡と共に提出されたもの

2. 上記の出願書類の言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願の言語である。

上記の書類は、下記の言語である _____ 語である。

- ☐ 国際調査のために提出されたPCT規則23.1(b)という翻訳文の言語
☐ PCT規則48.3(b)という国際公開の言語
☐ 国際予備審査のために提出されたPCT規則55.2または55.3という翻訳文の言語

3. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際予備審査報告を行った。

- ☐ この国際出願に含まれる書面による配列表
☐ この国際出願と共に提出された磁気ディスクによる配列表
☐ 出願後に、この国際予備審査(または調査)機関に提出された書面による配列表
☐ 出願後に、この国際予備審査(または調査)機関に提出された磁気ディスクによる配列表
☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった
☐ 書面による配列表に記載した配列と磁気ディスクによる配列表に記載した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

4. 補正により、下記の書類が削除された。

- ☐ 明細書 第 _____ ページ
☐ 請求の範囲 第 _____ 項
☐ 図面 図面の第 _____ ページ/図

5. ☐ この国際予備審査報告は、補充欄に示したように、補正が出願時における開示の範囲を越えてされたものと認められるので、その補正がされなかったものとして作成した。(PCT規則70.2(c) この補正を含む差し替え用紙は上記1.における判断の際に考慮しなければならず、本報告に添付する。)

V. 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての法第12条(PCT35条(2))に定める見解、それを裏付ける文献及び説明

1. 見解

新規性 (N)	請求の範囲	1-23	有
	請求の範囲		無
進歩性 (IS)	請求の範囲	1-23	有
	請求の範囲		無
産業上の利用可能性 (IA)	請求の範囲	1-23	有
	請求の範囲		無

2. 文献及び説明 (PCT規則70.7)

Translation

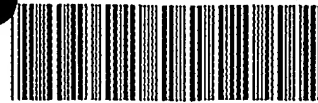
PATENT COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

PCT Application
PCT/JP2003/000435



Applicant's or agent's file reference PCT02409	FOR FURTHER ACTION See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/JP03/00435	International filing date (day/month/year) 20 January 2003 (20.01.03)	Priority date (day/month/year) 18 January 2002 (18.01.02)
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC B25J 5/00		
Applicant HONDA GIKEN KOGYO KABUSHIKI KAISHA		

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.
2. This REPORT consists of a total of 3 sheets, including this cover sheet.
- ☐ This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).
- These annexes consist of a total of sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:

- I ☒ Basis of the report
- II ☐ Priority
- III ☐ Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- IV ☐ Lack of unity of invention
- V ☒ Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- VI ☐ Certain documents cited
- VII ☐ Certain defects in the international application
- VIII ☐ Certain observations on the international application

Date of submission of the demand 17 June 2003 (17.06.03)	Date of completion of this report 09 July 2003 (09.07.2003)
Name and mailing address of the IPEA/JP	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

BEST AVAILABLE COPY

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/JP03/00435

I. Basis of the report

1. With regard to the elements of the international application:*

- ☒ the international application as originally filed
- ☐ the description:
pages _____, as originally filed
pages _____, filed with the demand
pages _____, filed with the letter of _____
- ☐ the claims:
pages _____, as originally filed
pages _____, as amended (together with any statement under Article 19
pages _____, filed with the demand
pages _____, filed with the letter of _____
- ☐ the drawings:
pages _____, as originally filed
pages _____, filed with the demand
pages _____, filed with the letter of _____
- ☐ the sequence listing part of the description:
pages _____, as originally filed
pages _____, filed with the demand
pages _____, filed with the letter of _____

2. With regard to the language, all the elements marked above were available or furnished to this Authority in the language in which the international application was filed, unless otherwise indicated under this item.

These elements were available or furnished to this Authority in the following language _____ which is:

- ☐ the language of a translation furnished for the purposes of international search (under Rule 23.1(b)).
- ☐ the language of publication of the international application (under Rule 48.3(b)).
- ☐ the language of the translation furnished for the purposes of international preliminary examination (under Rule 55.2 and/or 55.3).

3. With regard to any nucleotide and/or amino acid sequence disclosed in the international application, the international preliminary examination was carried out on the basis of the sequence listing:

- ☐ contained in the international application in written form.
- ☐ filed together with the international application in computer readable form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in written form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in computer readable form.
- ☐ The statement that the subsequently furnished written sequence listing does not go beyond the disclosure in the international application as filed has been furnished.
- ☐ The statement that the information recorded in computer readable form is identical to the written sequence listing has been furnished.

4. ☐ The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages _____
- ☐ the claims, Nos. _____
- ☐ the drawings, sheets/fig. _____

5. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).**

* Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to this report since they do not contain amendments (Rule 70.16 and 70.17).

** Any replacement sheet containing such amendments must be referred to under item 1 and annexed to this report.

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/JP03/00435

V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

1. Statement

Novelty (N)	Claims	1-23	YES
	Claims		NO
Inventive step (IS)	Claims	1-23	YES
	Claims		NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-23	YES
	Claims		NO

2. Citations and explanations